



TUGAS AKHIR – RC184803

**STUDI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT
TINGGI DENGAN SISTEM STRUKTUR
FRAME TUBE**

ANGGA RAMANDA PUTRA
NRP 031115 40000 050

Dosen Pembimbing :
Prof.Dr.Ir.I Gusti Putu Raka
Bambang Pisceca,ST.,MT.,Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR – RC-14-1501

**STUDI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT TINGGI
DENGAN SISTEM STRUKTUR FRAME TUBE**

ANGGA RAMANDA PUTRA
NRP 031115 40000 050

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT – RC-14-1501

**BEHAVIOUR STUDY OF HIGH RISE BUILDINGS
WITH FRAME TUBE STRUCTURAL SYSTEM**

ANGGA RAMANDA PUTRA
NRP 031115 40000 050

Advisor
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT TINGGI DENGAN SISTEM STRUKTUR FRAME TUBE

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Bidang Studi Struktur

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

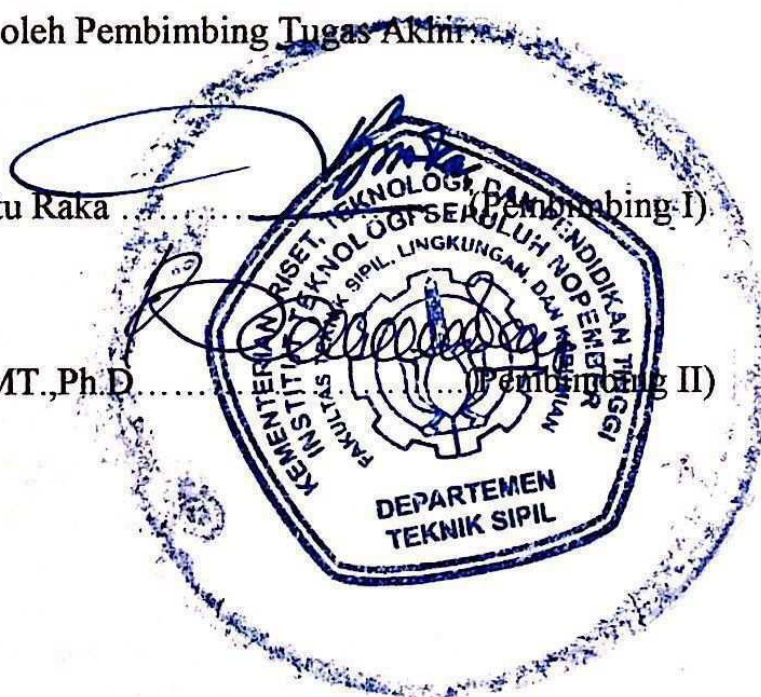
ANGGA RAMANDA PUTRA

NRP. 03111540000050

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka (Pembimbing I)

2. Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JANUARI, 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT TINGGI DENGAN SISTEM STRUKTUR FRAME TUBE

Nama Mahasiswa : ANGGA RAMANDA PUTRA
NRP : 03111540000050
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir. I Gusti Putu Raka
Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk dan terbatasnya jumlah lahan untuk dijadikan tempat tinggal menjadi pemicu utama dalam perkembangan infrastruktur di suatu perkotaan. Tingginya harga lahan untuk tempat tinggal di perkotaan, keinginan yang tinggi pada masyarakat untuk tetap tinggal di daerah perkotaan, serta usaha untuk mempertahankan luas lahan yang digunakan untuk agrikultural, mendesak pemukiman di wilayah perkotaan harus membangun gedung bertingkat tinggi untuk mengatasi masalah tempat tinggal masyarakat perkotaan. Pada saat ini, perkembangan serta pertumbuhan teknologi dan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil khususnya di teknik gedung bertingkat tinggi tumbuh dengan pesat sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah ketersediaan tempat tinggal di daerah perkotaan dengan membangun gedung-gedung bertingkat tinggi.

Semakin tinggi tingkat sebuah gedung, semakin kompleks juga hal-hal yang harus diperhatikan dalam desain, khususnya pada sistem penahan beban lateral. Salah satu sistem penahan lateral gedung bertingkat tinggi adalah frame tube yang merupakan sistem struktur paling ekonomis diantara kelompok sistem tube lainnya, seperti braced tube, bundled tube, tube in tube. Sistem tube sendiri adalah sebuah sistem struktur dengan jarak-jarak kolom pada perimeter yang relatif rapat dan dihubungkan oleh balok tinggi sebagai elemen struktur penahan lateral sehingga dapat bersifat sebagai vertical hollow cantilever. Sistem

struktur frame tube ini umum digunakan oleh gedung-gedung bertingkat tinggi di luar negeri, sedangkan gedung-gedung bertingkat tinggi di Indonesia umumnya menggunakan sistem ganda dengan dinding geser. Dalam hal ini perlu dilakukan studi sistem struktur mana yang lebih kaku dalam menahan beban lateral serta sistem struktur yang efisien apabila digunakan dalam desain gedung-gedung bertingkat tinggi

Tulisan ini akan membahas secara lengkap perilaku gedung bertingkat tinggi dengan sistem struktur frame tube yang kemudian akan dibandingkan dengan perilaku sistem struktur yang umum digunakan gedung bertingkat tinggi di Indonesia yaitu sistem ganda dengan dinding geser yang menggunakan objek gedung Grand Dharmahusada Lagoon yang memiliki jumlah lantai sebanyak 42 lantai sebagai objek studi sehingga didapatkan kesimpulan sistem struktur mana yang lebih kaku dan efisien untuk gedung bertingkat tinggi.

Kata Kunci : Gedung Bertingkat Tinggi, Beban Lateral, Perilaku Sistem Struktur, Frame Tube, Sistem Ganda dengan Dinding Geser

BEHAVIOUR STUDY OF HIGH RISE BUILDINGS WITH FRAME TUBE STRUCTURAL SYSTEM

Student Name : ANGGA RAMANDA PUTRA
NRP : 03111540000050
Department : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Academic Supervisor : Prof.Dr.Ir. I Gusti Putu Raka
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

The rapid growth of the urban population and the consequent pressure on limited space being main reason of infrastructure development in urban areas. The high cost of land, the desire to live in urban areas, and the need to preserved agricultural areas will urge urban areas to develop more high rise buildings to solve limited residences problems. Recently, rapid development in technologies and sciences in civil engineering, especially in high rise building engineering, so that it can be utilized to solve limited residences in urban areas problem, therefore development in increasing number of high rise buildings can be chosen as a solution.

Higher number of stories of a building, the more complex things that must be considered, such as design, behaviour, and especially lateral load resisting system. For example, lateral load resisting system is frame tube which is the most economical structural system compared to other tube structural systems, such as braced tube, bundled tube, tube in tube. Tube structural system is one of the lateral load resisting system that provided lateral resistance by closely spaced exterior/perimeter columns and connected by deep beams as a structural element that provided lateral resistances, so that the system works quite efficiently as a hollow vertical cantilever

This frame tube structure system is commonly used by high-rise buildings abroad, while high-rise buildings in Indonesia generally use a dual system with shear walls. In this case it is necessary to study which structural systems are more rigid in resisting lateral loads and efficient structural systems when used in the design of high-rise buildings

This study will completely discuss the behaviour of high-rise buildings with a frame tube structural system which will be compared with the behaviour of structural systems commonly used in high-rise buildings in Indonesia, namely dual systems with shear walls that will use the object of Grand Dharmahusada Lagoon building which has 42 floors floor as the object of study so that it can be concluded that which structural systems are more rigid and efficient for high-rise buildings.

Keywords : High-Rise Buildings, Lateral Loads, Structural System Behaviour, Frame Tube, Dual Systems with Shear Walls

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, kasih dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Perilaku Gedung Bertingkat Tinggi Dengan Sistem Struktur Frame Tube”** ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat agar dapat melanjutkan ke Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Kedua orangtua, yang selalu memberikan doa & motivasi
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka dan Bambang Piscea, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat.
3. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSLK ITS Surabaya yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, atas kesabarannya memberikan ilmu-ilmu yang sangat
4. Keluarga Besar Angkatan 2015, kalian keluarga baru yang tidak akan pernah terlupa. Serta seluruh pihak yang berkontribusi, maaf tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi generasi berikutnya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Gedung Bertingkat Tinggi.....	7
2.3 Material Struktur Gedung Bertingkat Tinggi	10
2.4 Sistem Struktur Penahan Beban Lateral	11
2.5 Sistem Struktur Tube.....	11
2.5.1 Frame Tube.....	12
2.5.1.1 Core Wall	12
2.5.2 Shear Wall	13
2.6 Balok Tinggi.....	14
2.6.1 Definisi Balok Tinggi.....	14

2.6.2 Kapasitas Geser Balok Tinggi	14
2.6.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Geser Balok Tinggi	15
2.6.2.2 Faktor Rasio Bentang Bersih terhadap Tinggi Balok	15
2.6.2.3 Faktor Mutu Kuat Tekan Beton	15
2.6.2.4 Faktor Penulangan Longitudinal	16
2.6.2.5 Faktor Penulangan Geser Horizontal	16
2.6.2.6 Faktor Penulangan Geser Vertikal	16
2.6.3 Perilaku Balok Tinggi terhadap Beban Dinamis	16
2.7 Desain terhadap Beban Lateral	17
2.7.1 Beban Gempa	18
2.7.2 Desain Beban Angin	19
2.8 Shear Lag	19
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Umum	23
3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir	23
3.3 Pengumpulan Data	26
3.4 Studi Literatur	26
3.5 Preliminary Design	26
3.5.1 Preliminary Design Balok	26
3.5.2 Preliminary Design Dimensi Kolom	27
3.5.3 Perencanaan Balok Tinggi	27
3.6 Perencanaan Struktur	28

3.6.1 Preliminary Design Balok	28
3.6.2 Perencanaan Dimensi Pelat	28
3.7 Pembebanan.....	29
3.7.1 Beban Mati	30
3.7.2 Beban Hidup.....	30
3.7.3 Beban Gempa	30
3.7.3.1 Gempa Rencana	30
3.7.3.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan	30
3.7.3.3 Menentukan Parameter Percepatan Gempa (SS, S1)	33
3.7.3.4 Penentuan Kelas Situs (SA – SF).....	34
3.7.3.5 Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER).....	35
3.7.3.6 Menentukan Spektrum Respons Desain .	36
3.7.3.7 Menentukan Kategori desain seismik (A- D)	38
3.7.3.8 Kombinasi Beban dan Pengaruh Beban Gempa	38
3.8 Analisa Struktur.....	39
3.8.1 Kontrol Permodelan Struktur	39
3.9 Perbandingan Hasil Base Shear, Periode, displacement, dan Drift	40

3.10 Pembebanan Angin Dengan Tiga Jenis Exposure ..	40
3.11 Perbandingan Beban Angin dengan Beban Gempa .	40
3.12 Pengaruh H Balok Tinggi	40
3.13 Perbandingan Volume Beton dan Tulangan	40
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Deskripsi Umum Struktur Frame Tube	41
4.2 Perencanaan Awal Dimensi Struktur	43
4.2.1 Penentuan Dimensi Elemen Balok Induk	43
4.2.2 Penentuan Dimensi Balok Kantilever	44
4.2.3 Penentuan Dimensi Balok Tinggi	44
4.2.4 Penentuan Dimensi Pelat	45
4.2.5 Preliminary Elemen Kolom	45
4.3 Deskripsi Umum Struktur Dual Sistem	46
4.4 Dimensi Eksisting Struktur	49
4.4.1 Dimensi Elemen Balok	49
4.4.2 Dimensi Elemen Kolom	50
4.4.3 Dimensi Elemen Shear Wall	51
4.5 Pembebanan Yang Digunakan	51
4.5.1 Pembebanan Gempa Dinamis	52
4.5.2 Faktor Keutamaan Gempa	52
4.5.3 Kelas Situs	52
4.5.4 Parameter Respon Spectral	53
4.5.5 Parameter Percepatan Spectral Desain	55
4.6 Kontrol Struktur	56

4.6.1 Kontrol Periode Fundamental Struktur	56
4.6.2 Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa	56
4.6.3 Kontrol Sistem Ganda	58
4.6.4 Kontrol Eksentrisitas	58
4.6.4.1 Eksentrisitas Frame Tube.....	59
4.6.4.2 Eksentrisitas Dual Sistem	60
4.6.5 Kontrol Torsi	62
4.6.5.1 Torsi Frame Tube.....	62
4.6.5.2 Torsi Dual Sistem	64
4.7 Periode dan Modal Participating Mass Ratio	65
4.8 Base Shear Gempa Surabaya dan Gempa Aceh	74
4.8.1 Base Shear Gempa Daerah Surabaya	74
4.8.2 Base Shear Gempa Daerah Aceh.....	75
4.8.3 Perbandingan <i>Base Shear</i> di Surabaya dan Aceh.....	77
4.9 Simpangan (<i>Displacement</i>)	78
4.10 Simpangan Antar Lantai (<i>Drift</i>)	81
4.11 Pengaruh Beban Angin Terhadap Bangunan Bertingkat Tinggi	104
4.11.1 Pengaruh Beban Angin Terhadap Struktur <i>Frame Tube</i> dan Dual Sistem.....	104
4.12 Perbandingan Pengaruh Pembebanan Angin dan Gempa	116
4.13 Pengaruh H Balok Tinggi Terhadap Perilaku Struktur Frame Tube.....	128

4.14 Perbandingan Volume Beton dan Kebutuhan Tulangan	134
4.14.1 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan <i>Frame Tube</i> Respons Spektrum Surabaya	135
4.14.2 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan Dual Sistem Respons Spektrum Surabaya	136
4.14.3 Rekapitulasi Perhitungan Volume Untuk Respons Spektrum Surabaya	138
4.14.4 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan <i>Frame Tube</i> Respons Spektrum Aceh.....	139
4.14.5 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan Dual Sistem Respons Spektrum Aceh.....	139
4.14.6 Rekapitulasi Perhitungan Volume Untuk Respons Spektrum Aceh	140
4.15 Pengaruh <i>Shear Lag</i> Pada Gedung Bertingkat Tinggi Dengan Sistem Struktur <i>Frame Tube</i>	141
4.15.1 Objek Permodelan Struktur	141
4.15.2 Hasil dan Analisa.....	144
BAB V DESAIN ELEMEN.....	149
5.1 Desain Elemen Balok Tinggi	149
5.2 Desain Kolom.....	152
5.2.1 Kolom Dual Sistem	152
5.2.1.1 Desain Tulangan <i>Confinement</i>	158
5.2.1.2 Desain Tulangan Geser Kolom	161
5.2.1.3 Desain Lap Splices.....	162
5.2.1.4 Desain Hubungan Balok Kolom	163

5.2.2 Kolom Frame Tube	164
5.2.2.1 Desain Tulangan Geser Kolom	171
5.2.2.2 Desain Lap Splices	172
5.2.2.3 Desain Hubungan Balok Kolom	173
5.3 Desain Balok	174
5.3.1 Desain Balok Frame Tube	174
5.3.1.1 Perhitungan Tulangan Geser	178
5.3.2 Desain Balok Dual Sistem	184
5.3.2.1 Perhitungan Tulangan Geser	188
5.4 Desain Elemen Shear Wall	195
5.5 Desain Pelat	200
5.6 Desain Tangga	205
5.6.1.1 Data-data Perencanaan Tangga	205
5.6.1.2 Perencanaan Pelat Anak Tangga	206
5.6.1.3 Pembebanan Tangga dan Bordes	206
5.6.1.4 Perhitungan Gaya Pada Tangga	207
5.6.1.5 Perhitungan Tulangan Tangga	208
BAB VI KESIMPULAN	215
6.1 Kesimpulan	215
6.2 Saran	217
DAFTAR PUSTAKA	219

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Sistem Struktur Untuk Gedung Bertingkat Tinggi.....	2
Gambar 2. 1 Perkembangan Gedung Bertingkat Tinggi ..	10
Gambar 2. 2 Dinding Geser.....	13
Gambar 2. 3 Balok Tinggi.....	14
Gambar 2. 4 Distribusi Tegangan pada Frame Tube.....	19
Gambar 2. 5 Shear Lag pada Hollow Tube Structure	20
Gambar 2. 6 Gambar Efek Shear Lag pada Sistem Struktur Frame Tube	21
Gambar 3. 1 Bagan Alir	25
Gambar 3. 2 Peta Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek)	33
Gambar 3. 3 Peta Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik).....	33
Gambar 3. 4 Spektrum Respons Desain.....	37
Gambar 4. 1 Denah Lantai 1-42	41
Gambar 4. 2 Tampilan 3D Gedung	42
Gambar 4. 3 Denah Lantai 1-42	47
Gambar 4. 4 Tampilan 3D Dual Sistem	48
Gambar 4. 5 Peta untuk Menentukan Nilai S_s	54
Gambar 4. 6 Peta untuk Menentukan Nilai S_1	54
Gambar 4. 7 Simpangan Arah X	79
Gambar 4. 8 Simpangan Arah Y	80
Gambar 4. 9 Gambar Drift Frame Tube Arah X Gempa Surabaya.....	82

Gambar 4. 10 Drift Frame Tube Arah Y Gempa Surabaya	83
Gambar 4. 11 Drift Dual Sistem Arah X Gempa Surabaya	84
Gambar 4. 12 Drift Dual Sistem Arah Y Gempa Surabaya	85
Gambar 4. 13 Drift Frame Tube Arah X Gempa Aceh	86
Gambar 4. 14 Drift Frame Tube Arah Y Gempa Aceh	87
Gambar 4. 15 Drift Dual Sistem Arah X Gempa Aceh...	88
Gambar 4. 16 Drift Dual Sistem Arah Y Gempa Aceh....	89
Gambar 4. 17 Grafik Displacement Angin Arah X.....	106
Gambar 4. 18 Grafik Displacement Angin Arah Y.....	107
Gambar 4. 19 Grafik Displacement Angin Arah X.....	108
Gambar 4. 20 Grafik Displacement Angin Arah Y.....	109
Gambar 4. 21 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh	118
Gambar 4. 22 Perbandingan Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh	119
Gambar 4. 23 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh	120
Gambar 4. 24 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh	121
Gambar 4. 25 Perbandingan Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh	122
Gambar 4. 26 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh	123
Gambar 4. 27 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh	124
Gambar 4. 28 Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh	125
Gambar 4. 29 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh	126

Gambar 4. 30	Grafik Pengaruh H Balok Tinggi Arah X	129
Gambar 4. 31	Grafik Pengaruh H Balok Tinggi Arah Y	130
Gambar 4. 32	Denah Lantai 1 Frame Tube	135
Gambar 4. 33	Denah Lantai 1 Dual Sistem.....	137
Gambar 4. 34	Model 1	142
Gambar 4. 35	Model 2.....	143
Gambar 4. 36	Gambar Tampilan 3D	144
Gambar 4. 37	Gambar Grafik Shear Lag di bagian Web	145
Gambar 4. 38	Gambar Grafik Shear Lag di bagian Flange	146
Gambar 4. 39	Grafik Shear Lag di bagian Web	147
Gambar 4. 40	Gambar Grafik Shear Lag di bagian Flange	147
Gambar 5. 1	Denah Balok Tinggi yang Ditinjau.....	149
Gambar 5. 2	Elemen Kolom Yang Ditinjau	153
Gambar 5. 3	Diagram P-MM Kolom	155
Gambar 5. 4	Gambar Diagram Interaksi P-M Kolom Bawah	157
Gambar 5. 5	Gambar Diagram Interaksi P-M Kolom Atas	158
Gambar 5. 6	Diagram P-MM Kolom	166
Gambar 5. 7	Diagram Interaksi P-M Kolom Bawah.....	167
Gambar 5. 8	Diagram Interaksi P-M Kolom Atas.....	168
Gambar 5. 9	Lokasi Balok B1	175
Gambar 5. 10	Lokasi Balok B1F	185
Gambar 5. 11	Elemen Pier 3 Shear Wall.....	195
Gambar 5. 12	Diagram Interaksi P-M Shearwall	199
Gambar 5. 13	Nilai c Dinding Geser	199
Gambar 5. 14	Pelat Yang Ditinjau	200
Gambar 5. 15	Koefisien Momen Tumpuan dan Lapangan Pada Bentang	202

Gambar 5. 16	Rencana Tangga	205
Gambar 5. 17	Gambar Potongan Tangga	206

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tebal Minimum Pelat.....	29
Tabel 3. 2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	31
Tabel 3. 3 Faktor Keutamaan Gempa.....	32
Tabel 3. 5 Koefisien Situs,Fa	36
Tabel 3. 6 Koefisien Situs, Fv	36
Tabel 3. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek	38
Tabel 3. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik.....	38
Tabel 4. 1 Elemen-elemen Struktur Frame Tube	43
Tabel 4. 2 Preliminary Balok	44
Tabel 4. 3 Preliminary Balok Kantilever	44
Tabel 4. 4 Preliminary Balok Tinggi.....	45
Tabel 4. 5 Dimensi Kolom di Perimeter Bangunan	45
Tabel 4. 6 Dimensi Kolom di Non-Perimeter Bangunan ..	46
Tabel 4. 7 Elemen-elemen Struktur Dual Sistem.....	49
Tabel 4. 8 Dimensi Elemen Balok	49
Tabel 4. 9 Dimensi Elemen Kolom.....	50
Tabel 4. 10 Dimensi Elemen Shear Wall	51
Tabel 4. 11 Cek Kelas Situs Tanah Surabaya	52
Tabel 4. 12 Cek Kelas Situs Tanah Aceh.....	53
Tabel 4. 13 Kontrol Prosentase Gaya Lateral	58
Tabel 4. 14 Eksentrisitas Torsi.....	59
Tabel 4. 15 Eksentrisitas Torsi.....	60
Tabel 4. 16 Kontrol Torsi Sistem Frame Tube.....	62
Tabel 4. 17 Kontrol Torsi Dual Sistem	64
Tabel 4. 18 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Frame Tube Gempa Surabaya.....	66

Tabel 4. 19 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Frame Tube Gempa Aceh	66
Tabel 4. 20 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Dual Sistem Gempa Surabaya	67
Tabel 4. 21 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Dual Sistem Gempa Aceh	68
Tabel 4. 22 Mode Shape Sistem Frame Tube	71
Tabel 4. 23 Mode Shape Dual Sistem	73
Tabel 4. 24 Perbandingan Base Shear Gempa Surabaya ..	75
Tabel 4. 25 Perbandingan Base Shear Gempa Aceh	76
Tabel 4. 26 Perbandingan Base Shear Frame Tube Daerah Surabaya & Aceh	77
Tabel 4. 27 Perbandingan Base Shear Dual Sistem Daerah Surabaya & Aceh	77
Tabel 4. 28 Drift Frame Tube Arah X Beban Gempa Aceh	90
Tabel 4. 29 Tabel Drift Frame Tube Arah Y Beban Gempa Aceh	92
Tabel 4. 30 Drift Dual Sistem Arah X Beban Gempa Aceh	94
Tabel 4. 31 Tabel Drift Dual Sistem Arah Y Beban Gempa Aceh	95
Tabel 4. 32 Tabel Drift Frame Tube Arah X Beban Gempa Surabaya.....	97
Tabel 4. 33 Tabel Drift Frame Tube Arah Y Beban Gempa Surabaya.....	99
Tabel 4. 34 Tabel Drift Dual Sistem Arah X Beban Gempa Surabaya.....	100
Tabel 4. 35 Tabel Drift Dual Sistem Arah Y Beban Gempa Surabaya.....	102
Tabel 4. 36 Gust Factor	104
Tabel 4. 37 Tabel Displacement Frame Tube Arah X	110

Tabel 4. 38	Displacement Frame Tube Arah Y	112
Tabel 4. 39	Tabel Displacement Dual Sistem Arah X	113
Tabel 4. 40	Tabel Displacement Dual Sistem Arah Y	115
Tabel 4. 41	Tabel <i>Displacement</i> Arah X.....	131
Tabel 4. 42	<i>Displacement</i> Arah Y	133
Tabel 4. 43	Tabel Volume Beton <i>Frame Tube</i>	136
Tabel 4. 44	Tabel Volume Tulangan <i>Frame Tube</i>	136
Tabel 4. 45	Volume Beton Dual Sistem.....	137
Tabel 4. 46	Kebutuhan Tulangan Dual Sistem	137
Tabel 4. 47	Rekapitulasi Volume Beton & Kebutuhan Tulangan	138
Tabel 4. 48	Elemen Struktur Frame Tube	141
Tabel 4. 49	Tabel Parameter Model	142
Tabel 4. 50	Tabel <i>Shear Lag</i> Pada Model 1	144
Tabel 4. 51	<i>Shear Lag</i> Pada Model 2	146
Tabel 5. 1	Properti Balok Tinggi.....	149
Tabel 5. 2	Data Kolom	153
Tabel 5. 3	Tabel Data Kolom	164
Tabel 5. 4	Properti Balok B1	175
Tabel 5. 5	Area Tulangan Butuh Analisis ETABS Balok B1	176
Tabel 5. 6	Tabel Jumlah Tulangan Terpasang B1	177
Tabel 5. 7	Area Tulangan Terpasang B1	178
Tabel 5. 8	Properti Balok B1F	185
Tabel 5. 9	Area Tulangan Butuh Analisis ETABS Balok B1F.....	186
Tabel 5. 10	Jumlah Tulangan Terpasang B1F.....	187
Tabel 5. 11	Area Tulangan Terpasang B1F	188
Tabel 5. 12	Rekapitulasi Tulangan Tangga.....	213

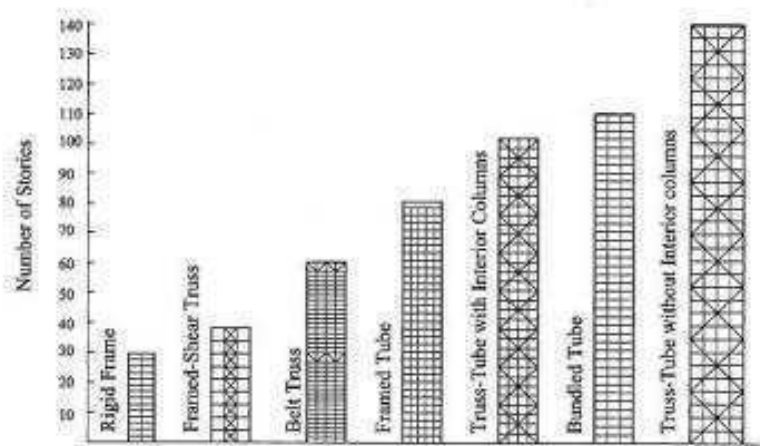
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk dan terbatasnya jumlah lahan untuk dijadikan tempat tinggal menjadi pemicu utama dalam perkembangan infrastruktur di suatu perkotaan. Tingginya harga lahan untuk tempat tinggal di perkotaan, keinginan yang tinggi pada masyarakat untuk tetap tinggal di daerah perkotaan, serta usaha untuk mempertahankan luas lahan yang digunakan untuk agrikultural, mendesak pemukiman di wilayah perkotaan harus membangun gedung-gedung bertingkat tinggi untuk mengatasi masalah tempat tinggal masyarakat perkotaan. Pada saat ini, perkembangan serta pertumbuhan teknologi dan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil khususnya di teknik gedung bertingkat tinggi tumbuh dengan pesat sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah ketersediaan tempat tinggal di daerah perkotaan dengan membangun gedung-gedung bertingkat tinggi. Gedung bertingkat tinggi menggunakan material yang biasa digunakan yaitu beton, baja, komposit

Semakin bertambah tinggi suatu gedung, maka semakin rentan pula terhadap stabilitas terhadap beban lateral seperti angin dan gempa. Oleh karena itu, gedung bertingkat tinggi perlu menggunakan sistem yang memadai agar stabilitas lateral gedung bertingkat tinggi tetap terjaga. Pada saat ini banyak sistem-sistem yang dirancang untuk gedung bertingkat tinggi, seperti *rigid frame*, *truss/braced frame*, *infilled frame*, *shear wall structures*, *coupled shear wall structures*, *wall frame*, *core structures*, *outrigger*, *tubular structures*. Sistem struktur yang digunakan untuk gedung bertingkat tinggi lebih kompleks daripada sistem struktur untuk gedung bertingkat rendah, sistem struktur bertingkat rendah dan jika memiliki denah yang beraturan masih dapat dilakukan perhitungan dengan static ekuivalen, namun untuk bentuk gedung yang tidak beraturan dan memiliki tingkat yang lebih tinggi harus disertai analisis dinamis baik linear maupun non linier.



Gambar 1. 1 Sistem Struktur Untuk Gedung Bertingkat Tinggi
(Sumber : Ali & Moon, 2007)

Dengan berkembangnya bidang ilmu infrastruktur, pengaplikasian sistem struktur *frame tube* dan dapat menjadi alternatif desain yang sesuai untuk mengatasi masalah bangunan gedung bertingkat tinggi. Sistem struktur *frame tube* adalah salah satu sistem penahan beban lateral yang dapat digunakan dalam perencanaan sebuah gedung bertingkat tinggi di Indonesia. Sistem struktur tubular adalah sistem struktur untuk menahan beban lateral yang memiliki kolom dengan jarak antarkolom yang relatif dekat mengelilingi perimeter dari sebuah gedung yang dihubungkan oleh balok yang memiliki tinggi dengan range 0,5 m – 1,3m menyesuaikan dengan panjang bentang sehingga dapat dikategorikan sebagai balok tinggi (Lavanya & Sridhar, 2017) untuk menambah kekakuan struktur. Sistem ini didesain agar struktur berperilaku seperti *vertical hollow cantilever*. Hal ini akan menambah kekakuan sebuah gedung. *Frame tube* adalah salah satu jenis sistem struktur tubular yang sangat umum digunakan pada gedung-gedung bertingkat tinggi di Amerika Serikat yang

berfungsi sebagai sistem untuk menahan beban lateral, sedangkan di Indonesia, sistem struktur *frame tube* masih belum umum digunakan sebagai sistem struktur untuk bangunan bertingkat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan studi secara mendalam untuk mengetahui perilaku bangunan bertingkat tinggi dengan menggunakan sistem struktur *frame tube* apabila diterapkan di Indonesia sehingga dapat menjadi alternatif desain bangunan bertingkat tinggi selain menggunakan sistem ganda (*dual system*) dengan dinding geser yang umum digunakan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah utama yang akan dibahas adalah bagaimana melakukan studi perilaku bangunan bertingkat tinggi dengan menggunakan sistem struktur *frame tube*. Terdapat beberapa detail permasalahan yang akan dibahas, yakni sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melakukan permodelan struktur gedung bertingkat tinggi dengan sistem struktur *frame tube* dan sistem ganda dengan dinding geser menggunakan program bantu ETABS ?
2. Bagaimana merencanakan dimensi awal atau preliminary design sistem struktur *frame tube* yang meliputi pelat, balok induk, balok anak, balok tinggi di seluruh perimeter bangunan, dan kolom ?
3. Bagaimana merencanakan pembebanan statis dan pembebanan dinamis yang meliputi beban angin dan beban gempa yang akan digunakan untuk studi pada sistem struktur *frame tube* maupun sistem ganda dengan dinding geser ?
4. Bagaimana parameter perilaku struktur *frame tube* dan sistem ganda yang meliputi *displacement*, *base shear*, *drift* berdasarkan pada peraturan atau standarisasi yang berlaku?
5. Bagaimana dampak yang ditimbulkan akibat beban angin di tiga jenis exposure yang berbeda ?
6. Bagaimana perbandingan dampak yang ditimbulkan terhadap masing-masing sistem struktur terhadap beban angin dan gempa ?

7. Bagaimana pengaruh H balok tinggi pada sistem *frame tube*?
8. Bagaimana perbandingan volume beton dan volume tulangan untuk menentukan efisiensi dari kedua sistem struktur ?
9. Bagaimana pengaruh jarak antar kolom terhadap *shear lag* pada sistem *frame tube* ?

1.3 Tujuan

Tujuan utama yang akan dicapai dalam studi perilaku bangunan bertingkat tinggi dengan menggunakan sistem struktur *frame tube*. Terdapat beberapa detail tujuan yang akan dibahas, yakni sebagai berikut:

1. Melakukan permodelan struktur gedung bertingkat tinggi dengan sistem struktur *frame tube* dan sistem ganda dengan dinding geser menggunakan program bantu ETABS
2. Merencanakan dimensi awal atau preliminary design sistem struktur *frame tube* yang meliputi pelat, balok induk, balok anak, balok tinggi di seluruh perimeter bangunan, dan kolom
3. Merencanakan pembebanan statis dan pembebanan dinamis yang meliputi beban angin dan beban gempa yang akan digunakan untuk studi pada sistem struktur *frame tube* maupun sistem ganda dengan dinding geser
4. Mengetahui parameter perilaku struktur *frame tube* dan sistem ganda yang meliputi *displacement*, *base shear*, *drift* berdasarkan pada peraturan atau standarisasi yang berlaku
5. Mengetahui dampak yang ditimbulkan akibat beban angin di tiga jenis exposure yang berbeda
6. Mengetahui perbandingan dampak yang ditimbulkan terhadap masing-masing sistem struktur terhadap beban angin dan gempa
7. Mengetahui pengaruh H balok tinggi pada sistem *frame tube*
8. Mengetahui perbandingan volume beton dan volume tulangan untuk menentukan efisiensi dari kedua sistem struktur
9. Mengetahui pengaruh jarak antar kolom terhadap *shear lag* pada sistem *frame tube*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini, yakni sebagai berikut:

1. Tidak membahas detail penulangan keseluruhan elemen-elemen struktur
2. Tidak melakukan analisis *pushover*
3. Tidak merencanakan detailing struktur bangunan bawah

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari studi perilaku gedung bertingkat tinggi dengan sistem struktur frame tube :

1. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan untuk perencanaan gedung tinggi menggunakan sistem struktur *frame tube*.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa jurnal dan textbook yang akan menjadi dasar teori dan penunjang dalam studi perbandingan perilaku bangunan bertingkat tinggi dengan sistem *frame tube* dan perencanaan ulang gedung apartemen Grand Dharmahusada Lagoon dengan sistem struktur *frame tube*. Pada studi ini diperlukan tinjauan khusus terhadap sistem struktur *frame tube* dan untuk mengetahui sistem struktur mana yang lebih kaku digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi..

2.2 Gedung Bertingkat Tinggi

Sebuah bangunan dapat dikategorikan sebagai "tinggi" berdasarkan ketinggian absolutnya, tinggi relatifnya terhadap sekitarnya, atau kelangsingannya. The Council on Tall Buildings and Urban Habitats menetapkan ketinggian 200m, 300m dan 600m sebagai ambang batas untuk status "tinggi", "super tinggi" dan "tinggi sekali"(CTBUH,2010). Dari sudut pandang teknik struktural, ketika bangunan bertingkat tinggi menjadi lebih tinggi dan lebih ramping, desain mereka menjadi semakin (dan fundamental) dipengaruhi oleh faktor perilaku spesifik, sebaliknya berbeda jauh dan kurang signifikan untuk bangunan yang lebih pendek.

Faktor-faktor ini termasuk respons dinamis yang tinggi bangunan untuk menahan beban angin baik dalam kondisi batas ultimate dan serviceability limit states (ULS dan SLS), dan pemendekan aksial diferensial dari elemen vertikal bangunan tinggi di bawah efek beban gravitasi. Secara khusus, besarnya respon angin dinamis lebih dominan secara signifikan dipengaruhi oleh kelangsingan keseluruhan bangunan dan frekuensi alaminya mode fundamental (sebagai contoh dua mode goyangan pertama tentang sumbu utama bangunan dan yang pertamamode torsional) dari ketinggian absolutnya. Kelangsingan keseluruhan bangunan

tinggi biasanya ditentukan oleh "height to base ratio", yaitu ketinggian bangunan dibagi dengan dimensi denah tersempitnya. Intinya, *higher height to base ratio* dan frekuensi alami yang lebih rendah meningkatkan komponen dinamis dari respons terhadap angin.

Definisi bangunan gedung menurut UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung pasal 1, adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Berdasarkan pasal 1 diatas, fungsi bangunan gedung dibedakan menjadi beberapa macam. Penggolongan bangunan gedung menurut fungsinya diatur dalam UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung pasal 5 yaitu :

- (1) Fungsi bangunan gedung meliputi fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya, serta fungsi khusus.
- (2) Bangunan gedung fungsi hunian sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan untuk rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah susun, dan rumah tinggal sementara.
- (4) Bangunan gedung fungsi usaha sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan gedung untuk perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal, dan penyimpanan.
- (5) Bangunan gedung fungsi sosial dan budaya sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) meliputi bangunan gedung untuk pendidikan, kebudayaan, pelayanan kesehatan, laboratorium, dan pelayanan umum.

Bangunan gedung selain digolongkan berdasarkan fungsi bangunannya, juga digolongkan berdasarkan ketinggiannya. Menurut Perda No. 5 tahun 2009 tentang Bangunan Gedung pasal

12, bangunan gedung berdasarkan ketinggiannya dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu :

(7) Klasifikasi bangunan gedung berdasarkan ketinggian sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dibedakan atas klasifikasi :

1. Bangunan gedung bertingkat tinggi dengan jumlah lantai lebih dari 8 (delapan) lantai
2. Bangunan gedung bertingkat sedang dengan jumlah lantai 5 (lima) sampai dengan 8 (delapan) lantai
3. Bangunan gedung bertingkat rendah dengan jumlah lantai 1 (satu) sampai dengan 4 (empat) lantai.

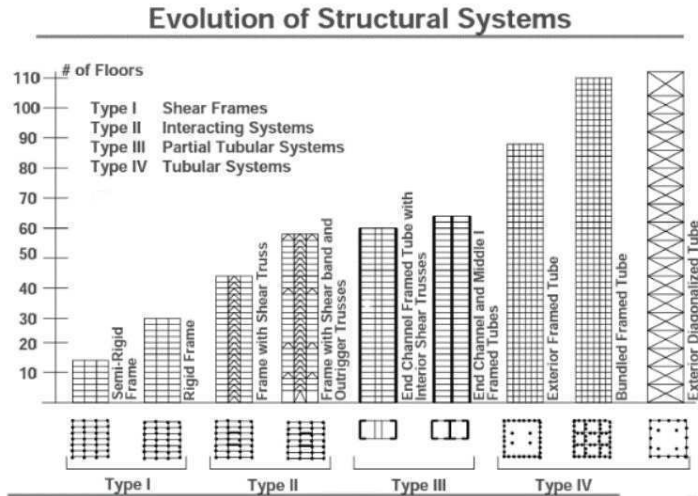
Karakteristik gedung bertingkat menurut Mulyono (2000) dikelompokkan menjadi :

1. Gedung bertingkat rendah (Low Rise Building) Gedung bertingkat rendah, dengan jumlah lantai 1 – 3 lantai, tingginya < 10m
2. Gedung bertingkat sedang (Medium Rise Building) Bangunan bertingkat sedang, dengan jumlah lantai 3 – 6 lantai, tingginya < 20 m
3. Gedung bertingkat tinggi (High Rise Building) Bangunan bertingkat tinggi, dengan jumlah lantai > 6 lantai, tingginya > 20 m

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pembangunan gedung tinggi (Smith and Coull, 1991):

1. Beban pada gedung
2. Kekuatan dan stabilitas
3. Kekakuan dan batas drift
4. Serviceability (Kenyamanan)
5. Rangkak, susut dan temperatur
6. Pencegahan dan perlindungan dari kebakaran

Perkembangan gedung bertingkat tinggi dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2. 1 Perkembangan Gedung Bertingkat Tinggi
(Sumber : CTBUH, 2010)

2.3 Material Struktur Gedung Bertingkat Tinggi

Bahan struktural yang digunakan pada bangunan bertingkat tinggi biasanya adalah satu atau kombinasi (struktur beton bertulang, struktur baja dan struktur komposit. Sistem material struktural untuk bangunan tinggi bangunan harus dipilih dengan mempertimbangkan faktor arsitektur, ekonomi, dan lokasi. berdasarkan geografi karena biaya relatif material, tenaga kerja, waktu dan ruang berbeda dari satu lokasi ke lokasi lain. Faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam memilih bahan struktural meliputi: ketersediaan pasar; ukuran / tinggi proyek; bentuk bangunan regular dan irregular. Desain dengan mempertimbangkan kinerja struktur (kinerja api, kinerja dinamis, kemampuan beradaptasi, dan sejenisnya); lokasi situs / akses; dan kecepatan pengerjaan konstruksi.

2.4 Sistem Struktur Penahan Beban Lateral

Sistem struktur penahan beban lateral wajib diterapkan para desainer dalam merencanakan gedung-gedung bertingkat tinggi. Sistem struktur penahan beban lateral bertujuan untuk memastikan bahwa gedung bertingkat tinggi yang telah didesain dapat menahan beban-beban lateral seperti gempa dan angin. Oleh karena itu, gedung bertingkat tinggi perlu menggunakan sistem yang memadai agar stabilitas lateral gedung bertingkat tinggi tetap terjaga. Pada saat ini banyak sistem-sistem yang dirancang untuk gedung bertingkat tinggi, seperti *rigid frame*, *truss/braced frame*, *infilled frame*, *shear wall structures*, *coupled shear wall structures*, *wall frame*, *core structures*, *outrigger*, *tubular structures*. Sistem struktur yang digunakan untuk gedung bertingkat tinggi lebih kompleks daripada sistem struktur untuk gedung bertingkat rendah, sistem struktur bertingkat rendah dan jika memiliki denah yang beraturan masih dapat dilakukan perhitungan dengan static ekuivalen, namun untuk bentuk gedung yang tidak beraturan dan memiliki tingkat yang lebih tinggi harus disertai analisis dinamis baik linear maupun non linier.

2.5 Sistem Struktur Tube

Dalam sistem struktur sebuah gedung tinggi (*high rise building*), tube adalah sistem struktur yang bertujuan untuk menahan beban lateral seperti beban angin dan beban gempa. Sistem struktur ini memiliki prinsip kerja seperti *vertical cantilever hollow*. Sistem ini dapat dibangun dengan bahan material baja, beton, atau komposit. Sistem struktur ini tersusun atas kolom-kolom eksterior pada perimeter bangunan yang memiliki jarak yang relatif rapat. Kolom-kolom ini dihubungkan oleh balok tinggi (Rahul & Kumara, 2017). Kolom-kolom yang dihubungkan balok tinggi ini membentuk sebuah *rigid frame* yang sangat kaku dan seolah-olah membentuk sebuah dinding struktur yang kuat di sepanjang eksterior gedung. Sistem struktur tubular ini memiliki 4 jenis, yaitu *Frame tube*, *Tube in tube*, *Braced Tube*, *Bundled Tube*. *Frame Tube* adalah salah satu dari 4 jenis sistem struktur tubular

yang paling sering digunakan sebagai sistem penahan beban lateral pada sebuah gedung karena lebih ekonomis dibandingkan dengan jenis sistem tube lainnya (Naik & Chandra, 2017)

2.5.1 Frame Tube

Frame tube adalah salah satu jenis sistem struktur tubular yang perimeter eksteriornya tersusun atas kolom-kolom dengan jarak antarkolom yang relatif dekat dan diikat atau dihubungkan dengan balok . Sistem ini bekerja sangat efektif dengan memiliki prinsip kerja sebagai *vertical hollow cantilever*. Frame tube dapat diartikan sebagai sistem tiga dimensi yang dibangun di keseluruhan perimeter eksterior gedung untuk menahan beban lateral.

Salah satu cara agar membuat sistem ini bekerja layaknya dinding struktur yang mengelilingi bangunan gedung sebagai sistem penahan beban lateral adalah dengan meletakkan kolom-kolom pada bagian perimeter eksterior gedung berdekatan satu sama lain dan diikat atau dihubungkan oleh balok tinggi. Di dalam pelaksanaannya jarak antar kolom pada sistem frame tube ini adalah 2-4 m, sedangkan untuk tinggi dari balok tinggi (Lavanya & Sridhar, 2017).

2.5.1.1 Core Wall

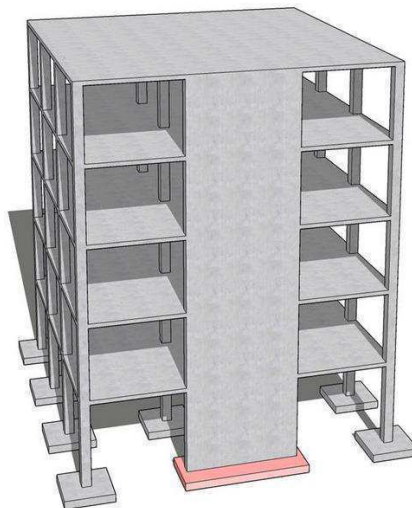
Sebagai sistem struktur, fungsi bagian vertikal dan horizontal dari struktur core wall tersebut secara statis saling tergantung satu sama lainnya dalam mendukung beban. Struktur core wall pada dasarnya adalah sistem struktur yang dibuat agar mampu menahan gaya-gaya lateral yang timbul akibat gaya angin atau gempa yang merupakan beban dinamis.

Karena hembusan angin selalu berubah-ubah, maka analisis beban angin pada struktur core wall dibagi dalam dua arah, yaitu gaya angin pada arah x dan pada y, yang diperhitungkan sebagai gaya geser yang didistribusikan menyebar dan seragam. Dengan demikian sistem struktur core wall harus kaku di semua bagian strukturnya, demikian juga pada bagian pondasi bawahnya. Sistem

struktur core wall ini didesain untuk dapat menahan gaya torsi yang timbul akibat tekanan angin yang eksentrisitas dan seragam pada pusat geser struktur core wall. Dalam proses rekayasa teknik, meskipun torsi dipertimbangkan dengan cukup kompleks, gaya tersebut dianggap sebagai beban terbagi rata yang bekerja searah tinggi struktur core wall.

2.5.2 Shear Wall

Dinding geser merupakan dinding padat yang biasanya terletak di inti bangunan atau lubang lift dan tangga. Dinding geser juga sering diletakkan sepanjang arah transversal dari bangunan, baik sebagai dinding eksterior ataupun interior. Dinding ini sangat kaku, menahan beban dengan melentur seperti pada **Gambar 2.2**. Perpaduan antara portal dan dinding geser sangat memberikan keuntungan, dimana dinding mengendalikan deformasi dari portal pada lantai – lantai bawah, sedangkan portal mengendalikan deformasi dari dinding pada lantai atas. Sistem ini biasanya dipakai pada gedung dengan ketinggian lebih dari 40 meter

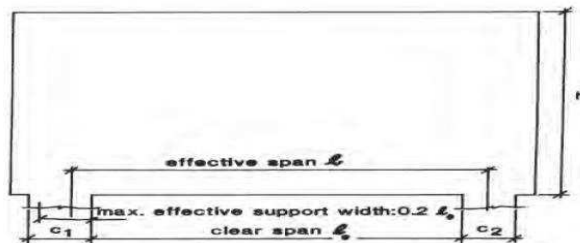


Gambar 2. 2 Dinding Geser

2.6 Balok Tinggi

2.6.1 Definisi Balok Tinggi

Balok tinggi adalah balok yang memiliki bentang bersih l_n kurang dari sama dengan empat kali tinggi balok h (Philipp, Ramadass & Kumar, 2015) sebagaimana yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Beton bertulang balok tinggi banyak dimanfaatkan dan diaplikasikan diberbagai macam jenis struktur, seperti pada gedung-gedung tinggi, , bangunan-bangunan *offshore*, dan sebagainya (Ashour, 2000).



Gambar 2.3 Balok Tinggi
(Sumber : Kong, 1990)

2.6.2 Kapasitas Geser Balok Tinggi

Perilaku geser balok tinggi sangat kompleks. Balok tinggi tergolong sebagai elemen struktur non lentur. Jadi, prinsip analisis balok langsing tidak dapat digunakan untuk menentukan kekuatan dari balok tinggi. Karakteristik penting dari balok tinggi adalah kapasitas geser yang besar (Rao & Kunal, 2007). Konsep dari metode perencanaan balok tinggi antara lain :

- Keruntuhan geser terjadi pada saat gaya geser yang bekerja pada bidang, melebihi kapasitas geser struktur
- Bagian utama yang berperan penting dalam sistem penahan geser struktur adalah luas penampang dibawah garis netral. (Kong, 2002)

2.6.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Geser Balok Tinggi

Faktor penting yang mempengaruhi kapasitas geser balok tinggi antara lain rasio bentang geser terhadap tinggi balok, rasio bentang bersih terhadap tinggi balok, mutu kuat tekan beton, penulangan longitudinal, penulangan geser horizontal, penulangan geser vertical (Smith, 1982)

$$V = \frac{Vu}{\sqrt{f_c'} bh} \quad (2.1)$$

Dimana,

- V = Kuat Geser Normal
- f_c' = Mutu kuat tekan beton
- b = Lebar balok
- h = Tinggi balok

2.6.2.2 Faktor Rasio Bentang Bersih terhadap Tinggi Balok

Rasio bentang bersih terhadap tinggi balok memiliki pengaruh besar terhadap kuat geser balok tinggi. Apabila rasio bentang bersih terhadap tinggi balok meningkat, defleksi yang terjadi pada bentang tengah bentang balok akan mengakibatkan retak lentur dan kuat geser menurun (Tan, 1995)

2.6.2.3 Faktor Mutu Kuat Tekan Beton

Mutu kuat tekan beton memiliki pengaruh terhadap kuat geser balok tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kuat geser balok tinggi meningkat sebesar 10,7% apabila f_c' meningkat sebesar 44,5%, eksperimen ini dilakukan pada balok tinggi f_c' 43,6 MPa yang dinaikkan mutunya menjadi 63 MPa (El Sayed dkk, 2006). Eksperimen juga dilakukan terhadap beton dengan mutu f_c' 24 – f_c' 37 MPa dan menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton dengan range 24-37 MPa hanya memiliki efek yang kecil dalam meningkatkan kuat geser balok tinggi (Londhe, 2010)

2.6.2.4 Faktor Penulangan Longitudinal

Faktor penulangan longitudinal memiliki pengaruh terhadap kuat geser balok tinggi. (Mau & Hsu, 1989) mengadakan eksperimen dan mendapatkan kesimpulan bahwa peningkatan jumlah penulangan longitudinal dapat berdampak pada peningkatan kuat geser dari balok tinggi. Eksperimen juga dilakukan oleh (Ashour, 2000) dan (Londhe, 2010) dan menghasilkan kesimpulan bahwa kuat geser meningkat seiring meningkatnya jumlah penulangan longitudinal.

2.6.2.5 Faktor Penulangan Geser Horizontal

Walaupun tujuan ditambahkannya penulangan geser horizontal adalah untuk meningkatkan kapasitas geser dari balok tinggi, beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penulangan geser horizontal tidak memiliki efek apapun terhadap kapasitas geser balok tinggi (Kong, 1970). Studi lain menunjukkan bahwa terjadi sedikit kenaikan kuat geser balok tinggi yang diiringi dengan meningkatnya penulangan geser horizontal (Smith, 1982).

2.6.2.6 Faktor Penulangan Geser Vertikal

Penulangan geser vertikal memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kuat geser balok tinggi. Tujuan dari penulangan geser vertikal ini adalah untuk mengekang beton untuk meningkatkan kapasitas geser balok tinggi. Selain itu, sangat efektif bila dalam rangka meningkatkan kapasitas geser balok tinggi, penulangan geser vertikal dipadukan dengan penulangan geser horizontal. Hal ini bertujuan untuk merekayasa elemen balok tinggi agar bersifat duktail pada saat akan terjadi keruntuhan geser (Shalnewaz, 2013).

2.6.3 Perilaku Balok Tinggi terhadap Beban Dinamis

Perilaku balok tinggi terhadap beban dinamis sangat kompleks. Jadi, diperlukan eksperimen untuk menentukan perilaku dan pola keruntuhan balok tinggi terhadap beban gempa pada kondisi ultimate. Karena eksperimen terhadap perilaku balok

tinggi terhadap beban gempa sangat mahal dan menghabiskan banyak waktu, maka studi perilaku balok tinggi terhadap beban gempa ini difokuskan pada analisa numerik yang dapat dilakukan dengan metode elemen hingga (Shalnewaz, 2013).

2.7 Desain terhadap Beban Lateral

Berbeda dengan beban vertical yang dapat diasumsikan secara linear bahwa semakin tinggi bangunan, maka semakin tinggi atau besar pula beban yang akan dipikul oleh struktur, beban lateral memiliki beban bervariasi dimana beban lateral tersebut dapat meningkat tajam terhadap ketinggian suatu bangunan. Sebagai contoh, apabila sebuah gedung tinggi diberi beban merata akibat angin, momen guling yang berada pada tingkat dasar bangunan memiliki proporsi yang berbeda terhadap luasan dari tinggi sebuah gedung.

Ada empat faktor yang harus dipertimbangkan dalam mendesain gedung tinggi, yaitu kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan legalitas (Taranath, 2010). Jika kekuatan menjadi faktor kebutuhan yang paling dominan, maka perhatian khusus terhadap kekakuan dan stabilitas dari sebuah struktur gedung menjadi peran yang dominan dan sering dijadikan acuan untuk mengontrol sebuah desain struktur. Terdapat dua cara yang dapat dilakukan agar mencapai tingkat kekakuan dan stabilitas yang dibutuhkan dalam mendesain sebuah struktur gedung. Pertama adalah dengan memperbesar ukuran elemen-elemen struktur sehingga dapat melampaui kekuatan yang diperlukan oleh sebuah struktur. Namun, cara ini tidak banyak dilakukan karena dianggap kurang ekonomis. Cara kedua adalah dengan cara mengubah konfigurasi dari sebuah struktur bangunan yang ada supaya lebih kaku dan lebih stabil.

Perhatian khusus juga harus diperhatikan terhadap bangunan tinggi yang langsing. Struktur gedung yang langsing harus didesain untuk menahan efek dinamika struktur dengan cara mengatur tingkat kekakuan yang dibutuhkan sebuah struktur gedung yang langsing. Dalam mendesain bangunan tahan gempa,

harus memperhatikan upaya pencegahan keruntuhan bangunan pada saat gempa terjadi. Struktur gedung harus didesain untuk memanfaatkan sifat daktilitas dari tulangan baja yang digunakan pada hubungan balok kolom agar tetap bertahan saat gempa berlangsung.

2.7.1 Beban Gempa

Karena gempa bumi dapat terjadi hampir di mana saja, beberapa ukuran ketahanan gempa di bentuk keuletan cadangan dan redundansi harus dibangun ke dalam desain semua struktur untuk mencegah kegagalan struktur. Selain itu, selama umur rencana sebuah bangunan di zona aktif seismik, biasanya direncanakan bahwa bangunan tersebut akan mengalami banyak gempa bumi berkekuatan kecil, sedang, hingga besar. Pertimbangan massa gedung, bentuk gedung dan proporsi gedung, percepatan tanah, dan respon dinamis dari struktur, dapat mempengaruhi besarnya dan distribusi kekuatan gempa. Di sisi lain, jika bentuk-bentuk tidak teratur tidak dapat dihindari, pertimbangan khusus terhadap desain struktur sangat diperlukan untuk memperhitungkan transfer beban pada perubahan beban secara mendadak dalam struktur.

Selain itu, meskipun kemajuan dalam rekayasa gempa bumi selama tiga dekade terakhir, banyak ketidakpastian dalam struktur. Tata letak rencana atau *layout* bangunan memainkan peran penting dalam perlawanannya terhadap beban lateral dan distribusi kekuatan gempa. Fakta telah menunjukkan bahwa bangunan dengan *layout* yang tidak simetris memiliki kerentanan yang lebih besar terhadap kerusakan akibat gempa daripada bangunan dengan *layout* yang simetris. Oleh karena itu, simetri pada kedua sumbu, tidak hanya untuk bangunan itu sendiri tetapi juga untuk pengaturan bukaan dinding, kolom, dan dinding geser sangat penting. Untuk bangunan berfitur tidak beraturan, seperti asimetri dalam rencana atau diskontinuitas vertikal, asumsi berbeda dari bangunan dengan teratur fitur harus digunakan dalam mengembangkan kriteria seismic (Rajmani & Guha, 2015).

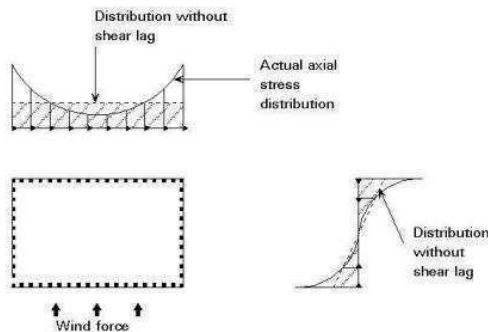
2.7.2 Desain Beban Angin

Secara bahasa, angin diartikan sebagai udara yang bergerak. Pergerakan angin pada arah vertical atau hampir mendekati arah vertical disebut aliran. Pergerakan angin pada permukaan bumi adalah dalam arah tiga dimensi dengan arah pergerakan secara horizontal lebih dominan daripada pergerakan angin arah vertical. Pergerakan angin secara horizontal pada permukaan bumi memberikan pengaruh yang sangat signifikan dan menjadi perhatian khusus dalam bidang perancangan bangunan gedung.

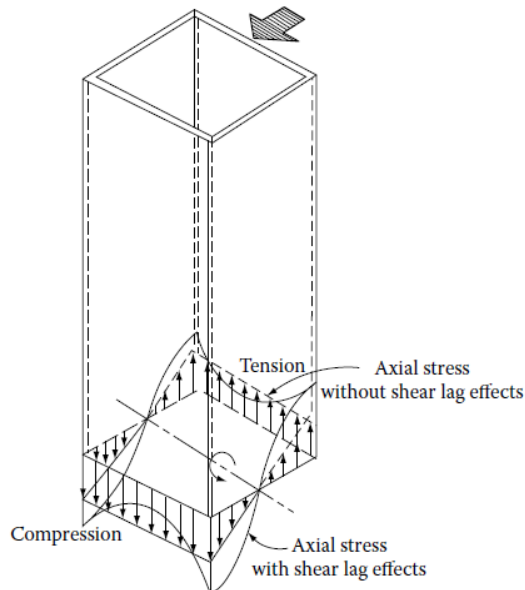
Walaupun secara kasat mata, angin tidak dapat dilihat, namun pergerakan angin ini menjadi perhatian khusus bagi para *engineer* dalam melakukan perancangan gedung-gedung tinggi (*high rise building*). Pergerakan angin menjadi masalah yang kompleks dan turbulen sehingga apabila perencanaan bangunan gedung bertingkat tidak direncanakan dan memperhitungkan beban angin, dapat mengakibatkan kegagalan pada struktur bangunan.

2.8 Shear Lag

Shear Lag menjadi masalah yang akan dihadapi apabila menggunakan sistem struktur *frame tube*. *Shear Lag* merupakan fenomena tidak meratanya distribusi beban lateral yang terjadi pada bagian *web frame* (bidang yang sejajar dengan arah angin) & *flange frame* (bidang yang tegak lurus dengan arah angin).



Gambar 2. 4 Distribusi Tegangan pada *Frame Tube*

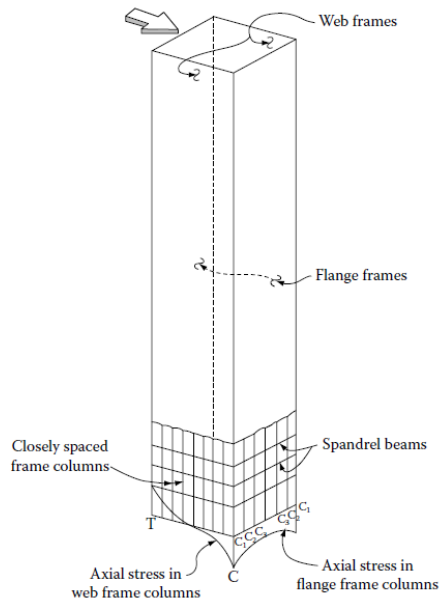


Gambar 2. 5 Shear Lag pada Hollow Tube Structure

Perhatikan ilustrasi **Gambar 2.5** dan **Gambar 2.6**, dimana kolom dari *frame tube* yang mengalami tekan Tarik, akan diberi notasi T untuk bagian kolom yang mengalami tarik, sedangkan C untuk kolom yang mengalami tekan. Bidang utama sistem struktur *frame tube* yang berperan dalam menahan beban lateral adalah bagian *web frame* dengan kolom T tertarik dan kolom C tertekan. *Web frames* didesain untuk mengalami lendutan. Hal yang dapat dilakukan adalah dengan memodifikasi fleksibilitas balok tinggi dimana hal ini dapat menyebabkan tegangan aksial pada kolom-kolom perimeter eksterior yang berada di bagian sudut-sudut bidang meningkat, sedangkan tegangan aksial pada kolom-kolom internal menurun.

Prinsip interaksi yang terjadi antara *web frames* & *flange frames* terjadi melalui perpindahan aksial yang terjadi pada kolom-kolom yang berada di posisi sudut-sudut bangunan. Ketika kolom

C dalam keadaan tertekan, kolom C akan cenderung menekan kolom-kolom C yang berdampingan atau yang berada disisinya karena kolom-kolom tersebut dihubungkan atau diikat oleh balok tinggi.



Gambar 2. 6 Gambar Efek Shear Lag pada Sistem Struktur *Frame Tube*

Halaman ini sengaja dikosongkan

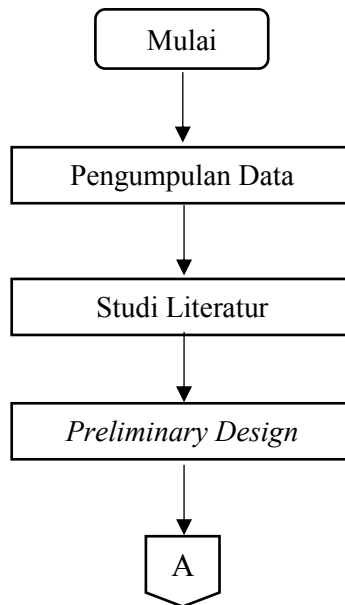
BAB III METODOLOGI

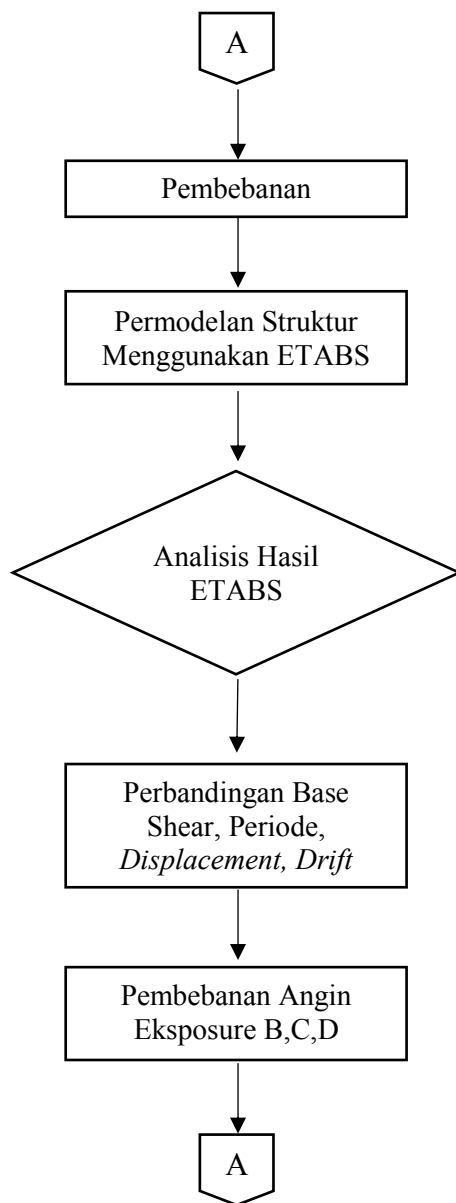
3.1 Umum

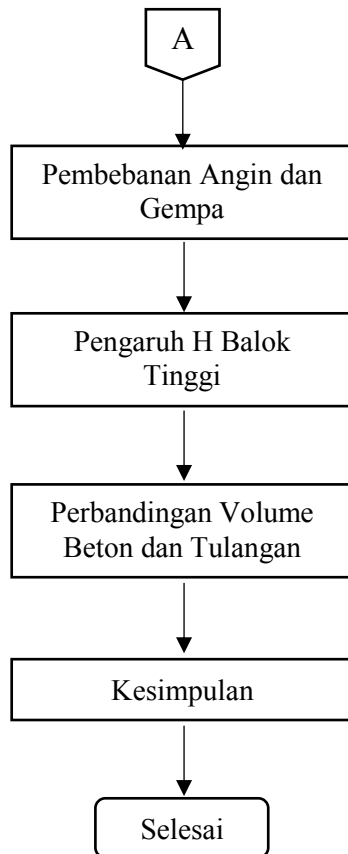
Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, maka perlu disusun langkah – langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan data, pedoman perancangan, dan sampai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini akan diterangkan sesuai bagan alir pada **Gambar 3.1**







Gambar 3. 1 Bagan Alir

3.3 Pengumpulan Data

Data eksisting bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir, yaitu :

Tipe Bangunan : Gedung Apartemen

Lokasi : Jl. Dharmahusada Mas III Block A No. 097, Surabaya

Sistem struktur : Sistem Ganda dengan Dinding Geser

Jumlah Lantai : 42 lantai

Data modifikasi untuk studi bangunan :

Sistem struktur : Frame Tube

3.4 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka atau peraturan mengenai perencanaan beton dan struktur gedung secara umum yang akan menunjang dalam pengerjaan tugas akhir ini, diantaranya :

1. SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
2. SNI 1726:2012 Struktur Gedung Tahan Gempa.
3. SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.

3.5 Preliminary Design

Preliminary design ini dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal dari struktur sesuai dengan ketentuan SNI 2847 : 2013, yang berupa :

3.5.1 Preliminary Design Balok

Perencanaan Dimensi Balok mengikuti peraturan SNI 2847 : 2013 pasal 9.5.1

$$h_{min} = \frac{l}{16}, \text{ digunakan apabila } f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

$$h_{min} = \frac{l}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right), \text{ untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa} \quad (3.2)$$

$$h_{min} = \frac{l}{16} (1,65 - 0,003 w_c), \text{ digunakan untuk nilai } W_c \text{ antara } 1440-1840 \text{ kg/m}^3 \quad (3.3)$$

3.5.2 Preliminary Design Dimensi Kolom

Perencanaan kolom awalnya harus menentukan beban yang akan membebani kolom tersebut, kemudian dikalikan dengan faktor reduksi beban $\phi = 0,65$ (SNI 2847 : 2013 pasal 9.3.2.2), lalu dapat dicari luasan kolom tersebut sesuai dengan rumus :

$$A = \frac{W}{\phi \times f_{c'}} \quad (3.4)$$

Dimana :

A = Luas Kolom Rencana

W = Beban Total Terfaktor

$f_{c'}$ = Mutu Beton (MPa)

3.5.3 Perencanaan Balok Tinggi

- Luas minimum tulangan tarik lentur A_s min harus memenuhi SNI 2847:2013 pasal 10.5

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} b_w d \quad (3.5)$$

- Balok tinggi harus diproporsikan sedemikian hingga V_u (SNI 2847 : 2013 pasal 11.7.3

$$V_u \leq \phi 0,83 \sqrt{f_{c'}} b_w d \quad (3.6)$$

- Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok, A_v tidak boleh kurang dari $0,0025 b_w s_1$ dan

s_1 tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/5$ dan 300 mm (SNI 2847:2013 pasal 11.7.4.1).

- Luas tulangan geser yang paralel terhadap sumbu longitudinal balok, A_v tidak boleh kurang dari $0,0025 b_w s_2$ dan s_2 tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/5$ dan 300 mm (SNI 2847:2013 pasal 11.7.4.2).

3.6 Perencanaan Struktur

Preliminary design ini dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal dari struktur sesuai dengan ketentuan SNI 2847 : 2013, yang berupa :

3.6.1 Preliminary Design Balok

Perencanaan Dimensi Balok mengikuti peraturan SNI 2847 : 2013 pasal 9.5.1

$$h_{min} = \frac{l}{16}, \text{ digunakan apabila } f_y = 420 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

$$h_{min} = \frac{l}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right), \text{ digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ MPa} \quad (3.2)$$

$$h_{min} = \frac{l}{16} (1,65 - 0,003 w_c), \text{ digunakan untuk nilai } w_c \text{ antara } 1440-1840 \text{ kg/m}^3 \quad (3.3)$$

3.6.2 Perencanaan Dimensi Pelat

Untuk memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum pelat harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

- a. Menentukan tebal minimum pelat

Tabel 3. 1 Tebal Minimum Pelat

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Tabel 9.5(a) SNI 2847 : 2013

b. Menentukan Lebar Efektif

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 8.12.2 dan pasal 8.12.3 disebutkan bahwa kriteria menentukan lebar efektif dari balok

- Lebar efektif balok tidak boleh melebihi :

$$B_{e1} = \frac{1}{4} \times L \quad (3.7)$$

$$B_{e2} = bw + 8t \quad (3.8)$$

$$B_{e3} = bw + \frac{1}{2} S \quad (3.9)$$

Keterangan :

t = tebal slab

S = jarak bersih ke badanbalok sebelahnya

3.7 Pembebanan

Penggunaan beban yang ada mengikuti peraturan yang sesai dalam SNI 1727:2013 dan kombinasi pembebanan menggunakan SNI1727:2013 Pasal 2.3.2 antara lain :

3.7.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur,dinding,pelat,serat berat peralatan layan (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1)

3.7.2 Beban Hidup

Beban Hidup berdasarkan hidup SNI 1727:2013 Tabel 4.1.

3.7.3 Beban Gempa

3.7.3.1 Gempa Rencana

Gempa rencana dalam perancangan struktur gedung ini ditetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan yang sudah ditentukan.

3.7.3.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai tabel 1 SNI 1726:2012, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan tabel 2.1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.2 SNI 1726 : 2012

Tabel 3. 2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas Pertanian, Perkebunan, peternakan, dan Perikanan - Fasilitas Sementara - Gudang Penyimpanan - Rumah Jaga dan Struktur Kecil Lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah Toko dan Rumah Kantor - Pasar - Gedung Perkantoran - Gedung Apartemen/rumah susun - Pusat Perbelanjaan/mall - Bangunan Industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

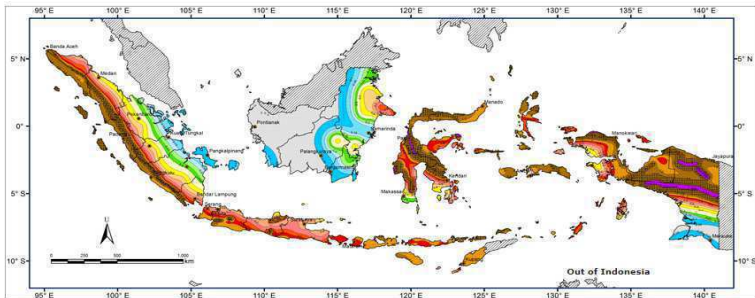
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung Pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya - Fasilitas Pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi 	IV

Tabel 1 SNI 1726:2012

Tabel 3. 3 Faktor Keutamaan Gempa

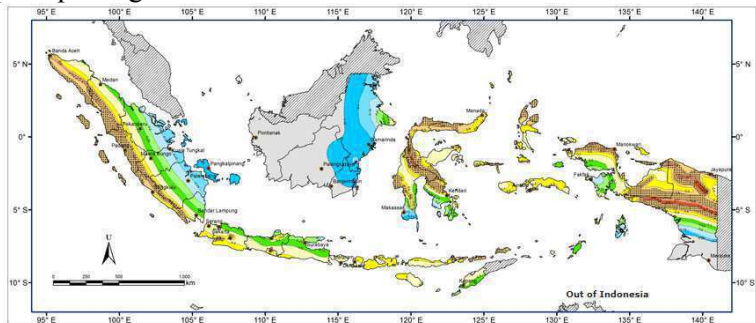
Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, <i>I_e</i>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

3.7.3.3 Menentukan Parameter Percepatan Gempa (SS, S1)



Gambar 3. 2 Peta Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek)

Parameter (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 3. 3 Peta Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik)

3.7.3.4 Penentuan Kelas Situs (SA – SF)

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\overline{V_s}$ (m/detik)	$\frac{\overline{N}}{N_{ch}}$ atau \overline{N}	$\overline{S_u}$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks Plastisitas , $PI > 20$ 2. Kadar air $\geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\overline{S_u} < 25\text{kPa}$		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi)	Setiap profil lapisan tanah yang memilikisalah satu atau lebih dari karakteristik berikut :		

geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik	<ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik ($H > 3$)
---	--

Tabel 3 (SNI 1726:2012)

3.7.3.5 Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.11)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Tabel 3. 4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Tabel 4 (SNI 1726:2012)

Tabel 3. 5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Tabel 5 (SNI 1726:2012)

3.7.3.6 Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.12)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.13)$$

Dengan,

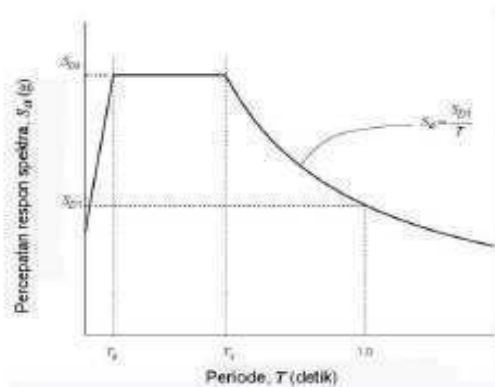
S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.14)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.15)$$



Gambar 3. 4 Spektrum Respons Desain

3.7.3.7 Menentukan Kategori desain seismik (A-D)

Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 6 SNI 1726:2012

Tabel 3. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 7 SNI 1726:2012

3.7.3.8 Kombinasi Beban dan Pengaruh Beban Gempa

Peninjauan dan penghitungan beban pada perancangan gedung ini berdasarkan pada Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012 Pasal 4.2.2 dan Pasal 7.4.

$$1. \quad 1,4 D \quad (3.16)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.17)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.18)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.19)$$

$$5. \quad 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (3.20)$$

$$6. \quad 0,9D + 1,0W \quad (3.21)$$

$$7. \quad 0,9D + 1,0E \quad (3.22)$$

3.8 Analisa Struktur

Analisa struktur utama menggunakan ETABS untuk mendapatkan reaksi-reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur rangka utama. Pada analisa ini digunakan pembebanan gempa dinamik, sehingga menggunakan analisa respon dinamik sesuai ketentuan SNI 1726:2012

3.8.1 Kontrol Permodelan Struktur

Kontrol permodelan struktur dilakukan setelah memperoleh analisa dari program bantu ETABS, hal ini dilakukan agar mengetahui desain yang dilakukan telah memenuhi syarat keamanan dan sesuai dengan standar yang terdapat pada peraturan. Kontrol permodelan struktur yang dilakukan sebagai berikut :

1. Melakukan pengecekan antara perhitungan manual dan perhitungan dengan menggunakan program bantu ETABS, selisih keakuratan antara kedua metode $\pm 5\%$.
2. Menghitung partisipasi massa, dengan syarat partisipasi massa $> 90\%$.
3. Menghitung lama waktu getar (T).
4. Menghitung *base shear* statik, harus memenuhi ketentuan yang ada $\pm 85\%$.
5. Menghitung simpangan yang terjadi.

3.9 Perbandingan Hasil Base Shear, Periode, displacement, dan Drift

Hasil output yang didapat dari ETABS, bandingkan hasil output dari base shear, periode, displacement dan drift pada masing-masing sistem struktur

3.10 Pembebanan Angin Dengan Tiga Jenis Eksposure

Dilakukan studi tentang pengaruh beban angin di tiga jenis eksposure, yaitu eksposure B,C, dan D berdasarkan ASCE 7-10

3.11 Perbandingan Beban Angin dengan Beban Gempa

Beban angin yang sebelumnya telah dilakukan studi, yaitu di eksposure B, eksposure C, dan eksposure D akan dibandingkan dengan beban gempa respons spectrum daerah Surabaya dan Aceh

3.12 Pengaruh H Balok Tinggi

Dilakukan studi dengan 4 variabel tinggi balok tinggi, yaitu $H=1000$, $H=1100$, $H=1200$, $H=1300$ dan dilakuak perbandingan, mana yang menghasilkan *displacement* yang paling besar

3.13 Perbandingan Volume Beton dan Tulangan

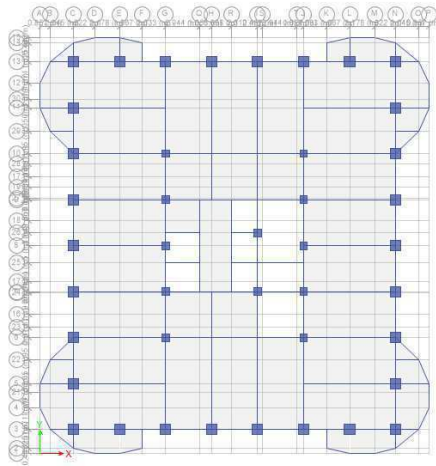
Dilakukan studi dengan membandingkan volume beton dan tulangan pada lantai 1 untuk mengetahui sistem struktur yang lebih hemat

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

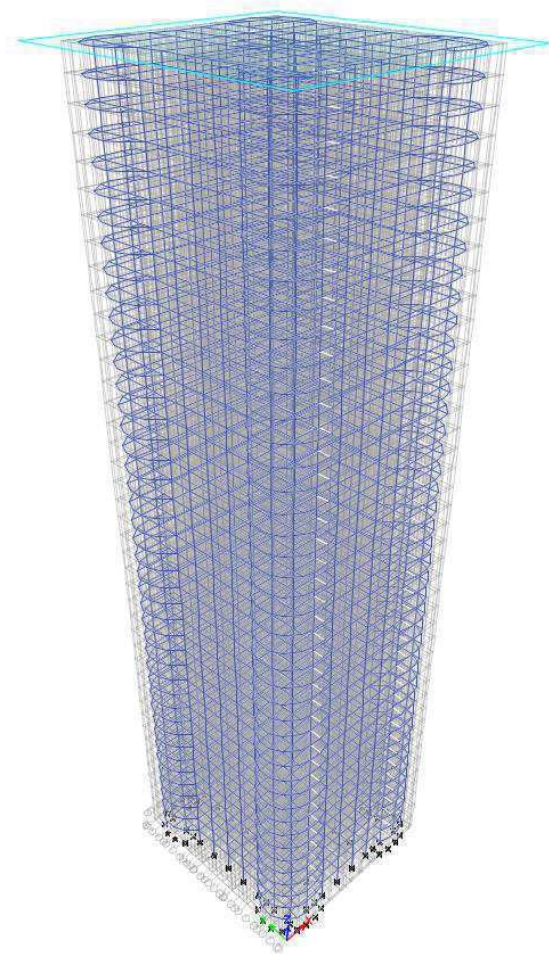
4.1 Deskripsi Umum Struktur Frame Tube

Pada model pertama, akan dimodelkan gedung dengan sistem struktur *frame tube* dengan jumlah 42 lantai dengan tinggi antarlantai sebesar 3,2 meter dan akan dilakukan preliminary design untuk permodelan menggunakan SNI 2847:2013. Bangunan ini berfungsi sebagai apartemen yang berlokasi di Surabaya.

Secara umum, bangunan ini dirancang dengan material beton bertulang dan memiliki ketinggian total sebesar 134,4 meter. Permodelan struktur akan dilakukan dengan *software* ETABS



Gambar 4. 1 Denah Lantai 1-42



Gambar 4. 2 Tampilan 3D Gedung

Spesifikasi Material yang digunakan untuk Studi adalah

- Mutu Baja : 420 MPa
- Mutu Beton :

Tabel 4. 1 Elemen-elemen Struktur Frame Tube

Elemen	fc'(MPa)
Pelat	30
Balok	30
Balok Tinggi	30
Kolom	40

4.2 Perencanaan Awal Dimensi Struktur

Perencanaan awal dimensi pada elemen struktur pada frame tube akan menggunakan ketentuan yang ada pada SNI 2847:2013, yaitu Persyaratan Beton untuk Struktural untuk Bangunan Gedung

4.2.1 Penentuan Dimensi Elemen Balok Induk

Penentuan tinggi balok minimum (h_{min}) dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2.(tabel 9.5(a)). Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah.

$$h_{min} = \frac{l}{16}$$

Sedangkan untuk lebar balok dapat ditentukan dengan persamaan

$$b = \frac{2}{3} \cdot h_{min}$$

Dimana :

l = panjang balok (mm)

h = tinggi balok (mm)

b = lebar balok (mm)

Tabel 4. 2 Preliminary Balok

Tipe	Panjang (mm)	H (mm)	B (mm)	h pakai (mm)	b pakai (mm)
Balok B1	10000	833.333	555.555	800	550
B2	8000	666.666	444.444	650	450
Balok B3	12000	1000	666.666	1000	650
Balok B4	6000	500	333.333	500	300
Balok BA1	4000	333.333	222.222	300	200

4.2.2 Penentuan Dimensi Balok Kantilever

Penentuan tinggi minimum balok kantilever dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 tabel 9.5a.

$$h_{\min} = \frac{l}{8}$$

Sedangkan untuk lebar balok dapat ditentukan dengan persamaan

$$b = \frac{2}{3} \cdot h_{\min}$$

Tabel 4. 3 Preliminary Balok Kantilever

Tipe	Panjang (mm)	hmin	bmin	h pakai	b pakai
BK	1625	406.25	270.8333	400	250

4.2.3 Penentuan Dimensi Balok Tinggi

Penentuan dimensi balok tinggi dapat ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.7

$$l_n \leq 4h$$

Tabel 4. 4 Preliminary Balok Tinggi

Tipe	Panjang (mm)	hmin	bmin	h pakai	b pakai
Balok Tinggi	4000	1000	666.6667	1000	700

4.2.4 Penentuan Dimensi Pelat

Sesuai tabel 9.5 (a) SNI 2847:2013, untuk pelat masif satu arah dengan kedua ujung menerus adalah :

$$H_{\min} = \frac{l}{28}$$

$$H_{\min} = \frac{4000}{28} = 142,8 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$$

4.2.5 Preliminary Elemen Kolom

Preliminary elemen struktur kolom menggunakan metode *Tributary Area* dengan rumus sebagai berikut :

$$A_g \geq \frac{P_u}{0,33 f_{c'}}$$

Didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Dimensi Kolom di Perimeter Bangunan

Kolom	s (m)
LT 1-3	1.5
LT 4-11	1.4
LT 12-19	1.3
LT 20-27	1.2
LT 28-35	0.9
LT 36-42	0.65

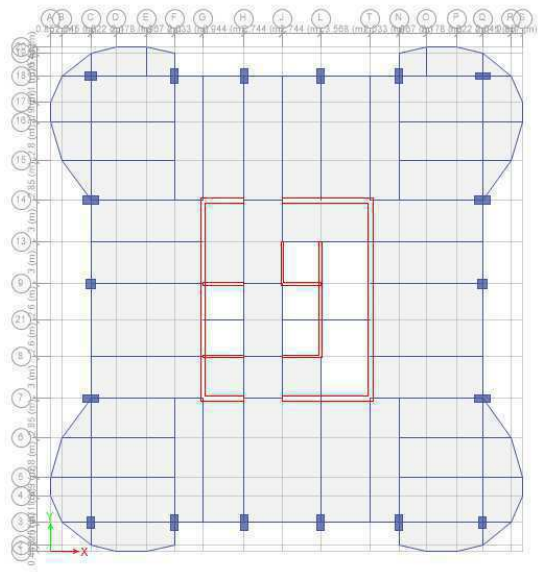
Tabel 4. 6 Dimensi Kolom di Non-Perimeter Bangunan

Kolom	s (m)
LT 1-3	1.5
LT 4-11	1.4
LT 12-19	1.3
LT 20-27	1.2
LT 28-35	0.9
LT 36-42	0.9

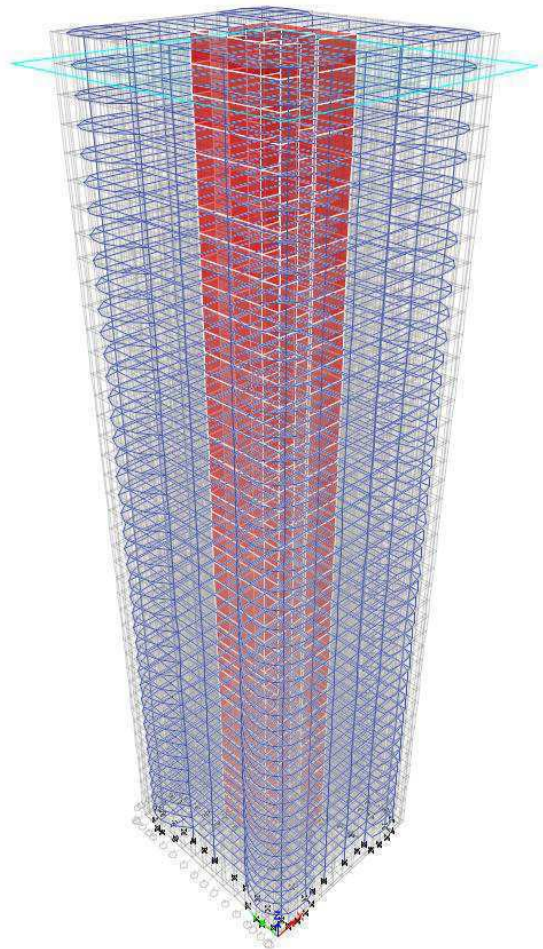
4.3 Deskripsi Umum Struktur Dual Sistem

Pada model kedua, akan dimodelkan gedung dengan sistem struktur *dual sistem* dengan jumlah 42 lantai dengan tinggi antarlantai sebesar 3,2 meter dan akan menggunakan dimensi eksisting dari gedung Grand Dharmahusada Lagoon yang direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2013. Bangunan ini berfungsi sebagai apartemen yang berlokasi di Surabaya.

Secara umum, bangunan ini dirancang dengan material beton bertulang dan memiliki ketinggian total sebesar 134,4 meter. Permodelan struktur akan dilakukan dengan *software* ETABS



Gambar 4. 3 Denah Lantai 1-42



Gambar 4. 4 Tampilan 3D Dual Sistem

Spesifikasi Material yang digunakan untuk Studi adalah

- Mutu Baja : 420 MPa
- Mutu Beton :

Tabel 4. 7 Elemen-elemen Struktur Dual Sistem

Elemen	f_c' (MPa)
Pelat	30
Balok	30
Shear Wall	40
Kolom	40

4.4 Dimensi Eksisting Struktur

Dimensi pada elemen struktur pada kondisi eksisting yaitu dengan dual sistem menggunakan ketentuan yang ada pada SNI 2847:2013, yaitu Persyaratan Beton untuk Struktural untuk Bangunan Gedung

4.4.1 Dimensi Elemen Balok

Tabel 4. 8 Dimensi Elemen Balok

Balok	Dimensi (mm)
B1A	400 X 800
B1B	450 X 700
B1C	400 X 700
B1D	350 X 600
B1E	300 X 500
B1F	350 X 600
BA	300 X 600
BK	400 X 700
BK2	300 X 600
LB	400 700

4.4.2 Dimensi Elemen Kolom

Tabel 4. 9 Dimensi Elemen Kolom

Notasi	Kolom	Dimensi (mm)
K1	LT 1-3	2200 X 900
	LT 4-11	2000 X 900
	LT 12-19	1800 X 700
	LT 20-27	1600 X 650
	LT 28-35	1500 X 550
	LT 36-42	1100 X 550
K2	LT 1-3	1950 X 850
	LT 4-11	1700 X 750
	LT 12-19	1500 X 700
	LT 20-27	1400 X 600
	LT 28-35	1150 X 550
	LT 36-42	800 X 550
K3	LT 1-3	1950 X 850
	LT 4-11	1800 X 750
	LT 12-19	1550 X 700
	LT 20-27	1400 X 650
	LT 28-35	1250 X 550
	LT 36-42	1050 X 450
K4	LT 1-3	1200 X 1200
	LT 4-11	1100 X 1100
	LT 12-19	1000 X 1000
	LT 20-27	900 X 900
	LT 28-35	800 X 800
	LT 36-42	700 X 700

4.4.3 Dimensi Elemen Shear Wall

Tabel 4. 10 Dimensi Elemen Shear Wall

Notasi	Kolom	Dimensi (mm)
SW1	LT 1-3	500
	LT 4-11	500
	LT 12-19	500
	LT 20-27	400
	LT 28-35	400
	LT 36-42	350
SW2	LT 1-42	200

4.5 Pembebanan Yang Digunakan

1. Beban Mati Tambahan (Super Dead Load)

- Beban mati tambahan pada pelat lantai terdiri dari :
 - Adukan finishing : 0,21 kN/m³
 - Tegel : 0,24 kN/m²
 - Plafond : 0,11 kN/m²
 - Penggantung : 0,07 kN/m²
 - Plumbing + ducting : 0,30 kN/m²
- Beban mati tambahan pada balok terdiri dari :
 - Dinding ½ bata : 250 kg/m²

2. Beban Hidup

- Lantai atap : 1 kN/m²
- Lantai apartemen : 2,5 kN/m²

3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa berdasarkan SNI 1726:2012

4.5.1 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.5.2 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung Grand Dharmahusada Lagoon yaitu II dengan faktor keutamaan gempa (I) **1,00**

4.5.3 Kelas Situs

1.1.3.1 Kelas Situs Daerah Surabaya

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan gedung Grand Dharmahusada Lagoon didapatkan berdasarkan nilai N (tes NSPT) seperti pada tabel

Tabel 4. 11 Cek Kelas Situs Tanah Surabaya

Lapisan i	Tebal Lapisan (d_i)	V_i	d_i/v_i
1	1.5	0	0
2	1.5	0	0
3	2.5	0	0
4	9.5	4	2.375
5	4	14.5	0.275862
6	2.5	13.5	0.185185
7	1.5	6	0.25
8	4.5	23.66667	0.190141
9	2	32	0.0625
10	0.5	30	0.016667
TOTAL	30	TOTAL	3.355355

Berdasarkan data tanah diatas nilai total $d_i/v_i = 3,35$ dengan nilai $\bar{N} = \frac{3,355}{30} = 8,94 < 15$ yang berarti masuk ke situs tanah lunak (SE)

1. Kelas Situs Daerah Aceh

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah daerah Aceh yang didapat dari proses pengumpulan data. didapatkan berdasarkan nilai N (tes NSPT) seperti pada tabel

Tabel 4. 12 Cek Kelas Situs Tanah Aceh

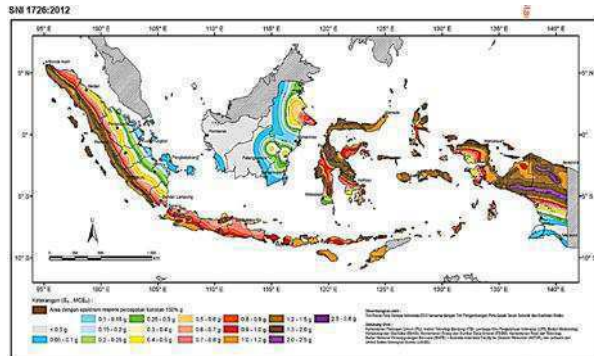
Lapisan i	Tebal Lapisan (d_i)	V_i	d_i/v_i
1	2	25	0.08
2	2	27	0.074074
3	2	45	0.044444
4	2	60	0.033333
5	2	47	0.042553
6	2	60	0.033333
7	2	60	0.033333
8	2	60	0.033333
9	2	60	0.033333
10	2	60	0.033333
TOTAL	20	TOTAL	0.242553

Berdasarkan data tanah diatas nilai total $d_i/v_i = 0,2425$ dengan nilai $\bar{N} = \frac{0,2425}{20} = 82,456 > 50$ yang berarti masuk ke situs tanah lunak (SC)

4.5.4 Parameter Respon Spectral

Sebagai input data pada ETABS, diperlukan data Percepatan Respon Spektrum (MCE).

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spectral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari untuk wilayah Surabaya $S_1 = 0,247$ g, sedangkan untuk daerah Aceh didapatkan $S_1 = 0,646$ g

4.5.5 Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spectra didisain untuk periode pendek 0,2 detik (SD_s) dan periode 1 detik (SD_1) untuk daerah Surabaya adalah sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s = 1,374 \times 0,663 = 0,911$$

$$S_{M1} = F_v S_1 = 3,012 \times 0,247 = 0,744$$

sehingga

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,911 = 0,607$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,744 = 0,496$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s) sebesar **0,663** g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar **0,247** g dengan kelas situs SE didapatkan daerah Surabaya memiliki S_{DS} sebesar **0,607** dan S_{D1} sebesar **0,496**.

Parameter percepatan spectra didisain untuk periode pendek 0,2 detik (SD_s) dan periode 1 detik (SD_1) untuk daerah Aceh adalah sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s = 1 \times 1,355 = 1,355$$

$$S_{M1} = F_v S_1 = 1,3 \times 0,646 = 0,839$$

sehingga

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,355 = 0,903$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,839 = 0,559$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s) sebesar **1,355** g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar **0,839** g dengan kelas situs SC didapatkan daerah Aceh memiliki S_{DS} sebesar **0,903** dan S_{D1} sebesar **0,559**.

4.6 Kontrol Struktur

4.6.1 Kontrol Periode Fundamental Struktur

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel digunakan dengan perumusan :

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dengan batas atas periode fundamental struktur sebesar,

$$T_{a \text{ atas}} = C_u \times T_a$$

- Sistem *Frame Tube*

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times 134,4^{0,75} = 1,92 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ atas}} = C_u \times T_a = 1,4 \times 1,92 = 2,7 \text{ detik}$$

$$T_a < C_u \times T_a < T_c = 1,92 < 2,7 < 3,298$$

- Sistem Dual Sistem

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times 134,4^{0,75} = 1,92 \text{ detik}$$

$$T_{a \text{ atas}} = C_u \times T_a = 1,4 \times 1,92 = 2,7 \text{ detik}$$

$$T_a < C_u \times T_a < T_c = 1,92 < 2,7 < 5,172$$

4.6.2 Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan response spektrum sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh SNI 1726 : 2012

$$V = C_s \times W_t$$

Penentuan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

- C_s

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

- C_s Maksimum

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

- Sistem *Frame Tube*

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,607 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,02 \geq 0,01$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,086$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{2,7 \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0267$$

$$C_{s \min} < C_s < C_{s \max}$$

$$0,02 < 0,086 < 0,0267$$

$$C_s \text{ pakai} = 0,0267$$

$$W_t = 493411,985 \text{ kN}$$

$$V_s = C_s \times W_t = 13174,1 \text{ kN}$$

$$0,85 V_s = 11197,985 \text{ kN}$$

$$V \text{ dinamis} = 11438,42 \text{ kN} > 11197,985 \text{ (memenuhi)}$$

- Sistem Dual Sistem

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,607 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,02 \geq 0,01$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,086$$

$$C_{s\max} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{2,7\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0267$$

$$C_{s\min} < C_s < C_{s\max}$$

$$0,02 < 0,086 < 0,0267$$

$$C_s \text{ pakai} = 0,0267$$

$$W_t = 442183,52 \text{ kN}$$

$$V_s = C_s \times W_t = 11806,3 \text{ kN}$$

$$0,85 V_s = 10035,35 \text{ kN}$$

$$V \text{ dinamis} = 10107,8 \text{ kN} > 10035,35 \text{ kN (memenuhi)}$$

4.6.3 Kontrol Sistem Ganda

Sistem Ganda merupakan sistem struktur dimana beban lateral gempa dipikul bersama oleh dinding geser dan sistem rangka dengan persyaratan sekurang-kurangnya 25% beban lateral yang dipikul sistem rangka. Oleh sebab itu, perlu dicek prosentase pada reaksi perletakan kolom

Tabel 4. 13 Kontrol Prosentase Gaya Lateral

Kontrol	Fx		Fy	
	Kolom	SW	Kolom	SW
Total	5294,29	12156,52	4679,3	13289,78
Total Gaya	17450,81		17969,08	
Prosentase	32%	68%	27%	73%

4.6.4 Kontrol Eksentrisitas

Berdasarkan SNI 1726:2013, torsi terdiri atas torsi bawaan dan torsi tidak terduga. Nilai eksentrisitas dari torsi bawaan di control untuk sistem *frame tube* dan dual sistem

4.6.4.1 Eksentrisitas Frame Tube

Tabel 4. 14 Eksentrisitas Torsi

Lantai	XCM	YCM	XCR	YCR	eo _x	eo _y
	m	m	m	m	m	m
1	16.9024	18.0399	16.8832	18.0551	0.0192	0.0152
2	16.9024	18.0399	16.8565	18.0538	0.0459	0.0139
3	16.9024	18.0384	16.8367	18.0518	0.0657	0.0134
4	16.9002	18.0369	16.8218	18.0502	0.0784	0.0133
5	16.9002	18.0369	16.8103	18.0488	0.0899	0.0119
6	16.9002	18.0369	16.8014	18.0477	0.0988	0.0108
7	16.9002	18.0369	16.7944	18.0468	0.1058	0.0099
8	16.9002	18.0369	16.7889	18.0462	0.1113	0.0093
9	16.9002	18.0369	16.7845	18.0457	0.1157	0.0088
10	16.9002	18.0369	16.7809	18.0454	0.1193	0.0085
11	16.9001	18.035	16.7778	18.045	0.1223	0.01
12	16.8975	18.0333	16.7753	18.0448	0.1222	0.0115
13	16.8975	18.0333	16.7734	18.0447	0.1241	0.0114
14	16.8975	18.0333	16.7717	18.0447	0.1258	0.0114
15	16.8975	18.0333	16.7703	18.0447	0.1272	0.0114
16	16.8975	18.0333	16.7689	18.0448	0.1286	0.0115
17	16.8975	18.0333	16.7677	18.0449	0.1298	0.0116
18	16.8975	18.0333	16.7664	18.045	0.1311	0.0117
19	16.8972	18.0311	16.7652	18.0451	0.132	0.014
20	16.895	18.0292	16.7642	18.0452	0.1308	0.016
21	16.895	18.0292	16.7632	18.0454	0.1318	0.0162
22	16.895	18.0292	16.7623	18.0456	0.1327	0.0164
23	16.895	18.0292	16.7613	18.0458	0.1337	0.0166
24	16.895	18.0292	16.7603	18.046	0.1347	0.0168
25	16.895	18.0292	16.7593	18.0463	0.1357	0.0171

26	16.895	18.0292	16.7582	18.0465	0.1368	0.0173
27	16.8934	18.0212	16.7568	18.0467	0.1366	0.0255
28	16.8867	18.0124	16.7563	18.0465	0.1304	0.0341
29	16.8867	18.0124	16.7554	18.0466	0.1313	0.0342
30	16.8867	18.0124	16.7543	18.0467	0.1324	0.0343
31	16.8867	18.0124	16.753	18.0469	0.1337	0.0345
32	16.8867	18.0124	16.7518	18.0471	0.1349	0.0347
33	16.8867	18.0124	16.7505	18.0474	0.1362	0.035
34	16.8867	18.0124	16.7492	18.0477	0.1375	0.0353
35	16.8867	18.0124	16.7479	18.0481	0.1388	0.0357
36	16.8867	18.0124	16.7466	18.0485	0.1401	0.0361
37	16.8867	18.0124	16.7453	18.049	0.1414	0.0366
38	16.8867	18.0124	16.744	18.0495	0.1427	0.0371
39	16.8867	18.0124	16.7427	18.05	0.144	0.0376
40	16.8867	18.0124	16.7414	18.0506	0.1453	0.0382
41	16.8867	18.0124	16.7401	18.0512	0.1466	0.0388
42	16.7881	18.033	16.7377	18.0518	0.0504	0.0188

4.6.4.2 Eksentrisitas Dual Sistem

Tabel 4. 15 Eksentrisitas Torsi

Lantai	XCM	YCM	XCR	YCR	eo _x	eo _y
	m	m	m	m	m	m
1	16.7997	18.252	17.0653	19.063	0.2656	0.811
2	16.7997	18.252	17.2814	18.7546	0.4817	0.5026
3	16.81	18.2746	17.477	18.557	0.667	0.2824
4	16.8211	18.2994	17.6464	18.4434	0.8253	0.144
5	16.8211	18.2994	17.7882	18.3688	0.9671	0.0694
6	16.8211	18.2994	17.9022	18.3136	1.0811	0.0142

7	16.8211	18.2994	17.993	18.2712	1.1719	0.0282
8	16.8211	18.2994	18.0648	18.2376	1.2437	0.0618
9	16.8211	18.2994	18.1214	18.2102	1.3003	0.0892
10	16.8211	18.2994	18.1657	18.1864	1.3446	0.113
11	16.8131	18.3018	18.1987	18.1627	1.3856	0.1391
12	16.8046	18.3053	18.2239	18.1448	1.4193	0.1605
13	16.8046	18.3053	18.2428	18.1324	1.4382	0.1729
14	16.8046	18.3053	18.2562	18.1224	1.4516	0.1829
15	16.8046	18.3053	18.2651	18.1142	1.4605	0.1911
16	16.8046	18.3053	18.2704	18.1072	1.4658	0.1981
17	16.8046	18.3053	18.2729	18.1012	1.4683	0.2041
18	16.8046	18.3053	18.2732	18.0959	1.4686	0.2094
19	16.8119	18.3229	18.2714	18.0904	1.4595	0.2325
20	16.8201	18.3426	18.2649	18.0866	1.4448	0.256
21	16.8201	18.3426	18.2554	18.0837	1.4353	0.2589
22	16.8201	18.3426	18.2444	18.0814	1.4243	0.2612
23	16.8201	18.3426	18.2325	18.0795	1.4124	0.2631
24	16.8201	18.3426	18.2199	18.078	1.3998	0.2646
25	16.8201	18.3426	18.2065	18.0768	1.3864	0.2658
26	16.8201	18.3426	18.1926	18.0756	1.3725	0.267
27	16.8156	18.3503	18.1777	18.0731	1.3621	0.2772
28	16.8092	18.3628	18.1621	18.0717	1.3529	0.2911
29	16.8092	18.3628	18.1462	18.0714	1.337	0.2914
30	16.8092	18.3628	18.1297	18.0715	1.3205	0.2913
31	16.8092	18.3628	18.1125	18.0718	1.3033	0.291
32	16.8092	18.3628	18.0948	18.0722	1.2856	0.2906
33	16.8092	18.3628	18.0767	18.0728	1.2675	0.29
34	16.8092	18.3628	18.0582	18.0735	1.249	0.2893
35	16.802	18.3721	18.0395	18.073	1.2375	0.2991
36	16.7921	18.3808	18.0195	18.073	1.2274	0.3078

37	16.7921	18.3808	17.9993	18.0738	1.2072	0.307
38	16.7921	18.3808	17.9792	18.0747	1.1871	0.3061
39	16.7921	18.3808	17.9601	18.0757	1.168	0.3051
40	16.7921	18.3808	17.9426	18.0766	1.1505	0.3042
41	16.7921	18.3808	17.9281	18.0777	1.136	0.3031
42	16.8113	18.4478	17.918	18.079	1.1067	0.3688

4.6.5 Kontrol Torsi

Berdasarkan SNI 1726:2012, tipe dari ketidakberaturan torsi yang ditentukan berdasarkan drift maksimum dan minimum dan drift rata-rata

4.6.5.1 Torsi Frame Tube

Tabel 4. 16 Kontrol Torsi Sistem Frame Tube

Lantai	Maximum Simpangan	Maximum Drift	Maximum Drift x Cd	D Avg	1,2 Avg	1,4 Avg	Cek
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
42	173.7	1.9	10.45	10.45	12.54	14.63	TANPA TORSI
41	171.8	2.2	12.1	12.1	14.52	16.94	TANPA TORSI
40	169.6	2.5	13.75	13.75	16.5	19.25	TANPA TORSI
39	167.1	2.7	14.85	14.85	17.82	20.79	TANPA TORSI
38	164.4	3.1	17.05	17.05	20.46	23.87	TANPA TORSI
37	161.3	3.4	18.7	18.7	22.44	26.18	TANPA TORSI
36	157.9	3.6	19.8	19.8	23.76	27.72	TANPA TORSI
35	154.3	3.9	21.45	21.45	25.74	30.03	TANPA TORSI
34	150.4	4.1	22.55	22.55	27.06	31.57	TANPA TORSI
33	146.3	4.3	23.65	23.65	28.38	33.11	TANPA TORSI
32	142	4.5	24.75	24.75	29.7	34.65	TANPA TORSI
31	137.5	4.7	25.85	25.85	31.02	36.19	TANPA TORSI
30	132.8	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI

29	127.9	5	27.5	27.5	33	38.5	TANPA TORSI
28	122.9	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
27	118	4.6	25.3	25.3	30.36	35.42	TANPA TORSI
26	113.4	4.7	25.85	25.85	31.02	36.19	TANPA TORSI
25	108.7	4.7	25.85	25.85	31.02	36.19	TANPA TORSI
24	104	4.8	26.4	26.4	31.68	36.96	TANPA TORSI
23	99.2	4.8	26.4	26.4	31.68	36.96	TANPA TORSI
22	94.4	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
21	89.5	5	27.5	27.5	33	38.5	TANPA TORSI
20	84.5	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
19	79.6	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
18	74.7	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
17	69.8	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
16	64.9	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
15	60	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
14	55.1	4.8	26.4	26.4	31.68	36.96	TANPA TORSI
13	50.3	4.9	26.95	26.95	32.34	37.73	TANPA TORSI
12	45.4	4.7	25.85	25.85	31.02	36.19	TANPA TORSI
11	40.7	4.7	25.85	25.85	31.02	36.19	TANPA TORSI
10	36	4.6	25.3	25.3	30.36	35.42	TANPA TORSI
9	31.4	4.5	24.75	24.75	29.7	34.65	TANPA TORSI
8	26.9	4.4	24.2	24.2	29.04	33.88	TANPA TORSI
7	22.5	4.4	24.2	24.2	29.04	33.88	TANPA TORSI
6	18.1	4.2	23.1	23.1	27.72	32.34	TANPA TORSI
5	13.9	3.9	21.45	21.45	25.74	30.03	TANPA TORSI
4	10	3.6	19.8	19.8	23.76	27.72	TANPA TORSI
3	6.4	3.1	17.05	17.05	20.46	23.87	TANPA TORSI
2	3.3	2.3	12.65	12.65	15.18	17.71	TANPA TORSI
1	1	1	5.5	5.5	6.6	7.7	TANPA TORSI

4.6.5.2 Torsi Dual Sistem

Tabel 4. 17 Kontrol Torsi Dual Sistem

Lantai	Maximum Simpangan	Maximum Drift	Maximum Drift x Cd	D Avg	1,2 Avg	1,4 Avg	Cek
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
42	400.4	6.2	34.1	34.1	40.92	47.74	TANPA TORSI
41	394.2	6.6	36.3	36.3	43.56	50.82	TANPA TORSI
40	387.6	6.9	37.95	37.95	45.54	53.13	TANPA TORSI
39	380.7	7.3	40.15	40.15	48.18	56.21	TANPA TORSI
38	373.4	7.7	42.35	42.35	50.82	59.29	TANPA TORSI
37	365.7	8.1	44.55	44.55	53.46	62.37	TANPA TORSI
36	357.6	8.5	46.75	46.75	56.1	65.45	TANPA TORSI
35	349.1	8.8	48.4	48.4	58.08	67.76	TANPA TORSI
34	340.3	9.2	50.6	50.6	60.72	70.84	TANPA TORSI
33	331.1	9.6	52.8	52.8	63.36	73.92	TANPA TORSI
32	321.5	9.9	54.45	54.45	65.34	76.23	TANPA TORSI
31	311.6	10.2	56.1	56.1	67.32	78.54	TANPA TORSI
30	301.4	10.5	57.75	57.75	69.3	80.85	TANPA TORSI
29	290.9	10.8	59.4	59.4	71.28	83.16	TANPA TORSI
28	280.1	11	60.5	60.5	72.6	84.7	TANPA TORSI
27	269.1	11.3	62.15	62.15	74.58	87.01	TANPA TORSI
26	257.8	11.4	62.7	62.7	75.24	87.78	TANPA TORSI
25	246.4	11.6	63.8	63.8	76.56	89.32	TANPA TORSI
24	234.8	11.8	64.9	64.9	77.88	90.86	TANPA TORSI
23	223	11.9	65.45	65.45	78.54	91.63	TANPA TORSI
22	211.1	12	66	66	79.2	92.4	TANPA TORSI
21	199.1	12	66	66	79.2	92.4	TANPA TORSI
20	187.1	12	66	66	79.2	92.4	TANPA TORSI
19	175.1	11.9	65.45	65.45	78.54	91.63	TANPA TORSI
18	163.2	11.9	65.45	65.45	78.54	91.63	TANPA TORSI

17	151.3	11.8	64.9	64.9	77.88	90.86	TANPA TORSI
16	139.5	11.7	64.35	64.35	77.22	90.09	TANPA TORSI
15	127.8	11.6	63.8	63.8	76.56	89.32	TANPA TORSI
14	116.2	11.4	62.7	62.7	75.24	87.78	TANPA TORSI
13	104.8	11.3	62.15	62.15	74.58	87.01	TANPA TORSI
12	93.5	11	60.5	60.5	72.6	84.7	TANPA TORSI
11	82.5	10.8	59.4	59.4	71.28	83.16	TANPA TORSI
10	71.7	10.4	57.2	57.2	68.64	80.08	TANPA TORSI
9	61.3	10	55	55	66	77	TANPA TORSI
8	51.3	9.6	52.8	52.8	63.36	73.92	TANPA TORSI
7	41.7	9	49.5	49.5	59.4	69.3	TANPA TORSI
6	32.7	8.4	46.2	46.2	55.44	64.68	TANPA TORSI
5	24.3	7.5	41.25	41.25	49.5	57.75	TANPA TORSI
4	16.8	6.4	35.2	35.2	42.24	49.28	TANPA TORSI
3	10.4	5.2	28.6	28.6	34.32	40.04	TANPA TORSI
2	5.2	3.6	19.8	19.8	23.76	27.72	TANPA TORSI
1	1.6	1.6	8.8	8.8	10.56	12.32	TANPA TORSI

4.7 Periode dan Modal Participating Mass Ratio

Berdasarkan hasil analisa menggunakan software ETABS, maka diperoleh periode alami struktur dan *Modal Participating Mass Ratio* untuk sistem *frame tube* dan dual sistem dengan beban gempa Surabaya dan Aceh pada tabel **Tabel 4.18** sampai dengan **Tabel 4.21** sebagai berikut :

Tabel 4. 18 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Frame Tube Gempa Surabaya

Mode	Periode	UX	UY	RZ	Arah
	s				
1	3.298	0.7196	0.0003	6.50E-06	X
2	3.137	0.0003	0.7214	8.68E-06	Y
3	2.063	4.95E-06	1.04E-05	0.7523	Torsi
4	1.148	0.1261	2.87E-05	5.07E-07	X
5	1.095	2.38E-05	0.1257	2.49E-06	Y
6	0.759	1.41E-06	2.51E-06	0.1046	Torsi
7	0.641	0.045	2.00E-06	6.01E-07	X
8	0.613	1.53E-06	0.0449	1.24E-06	Y
9	0.447	9.18E-07	7.48E-07	0.0429	Torsi
10	0.441	0.0217	0	0	X
11	0.422	0	0.0216	0	Y

Tabel 4. 19 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Frame Tube Gempa Aceh

Mode	Periode	UX	UY	RZ	Arah
	s				
1	3.298	0.7196	0.0003	6.50E-06	X

2	3.137	0.0003	0.7214	8.68E-06	Y
3	2.063	4.95E-06	1.04E-05	0.7523	Torsi
4	1.148	0.1261	2.87E-05	5.07E-07	X
5	1.095	2.38E-05	0.1257	2.49E-06	Y
6	0.759	1.41E-06	2.51E-06	0.1046	Torsi
7	0.641	0.045	2.00E-06	6.01E-07	X
8	0.613	1.53E-06	0.0449	1.24E-06	Y
9	0.447	9.18E-07	7.48E-07	0.0429	Torsi
10	0.441	0.0217	0	0	X
11	0.422	0	0.0216	0	Y

Tabel 4. 20 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Dual Sistem Gempa Surabaya

Mode	Periode	UX	UY	RZ	Arah
	s				
1	5.172	0.6987	2.39E-06	2.39E-05	X
2	4.266	4.99E-06	0.6189	0.0353	Y
3	3.571	2.45E-05	0.029	0.6886	Torsi
4	1.554	0.1354	2.52E-06	6.56E-06	X

5	1.195	2.17E-05	0.035	0.0853	Torsi
6	1.052	0	0.1273	0.0297	Y
7	0.8	0.0482	9.85E-07	1.58E-05	X
8	0.646	2.10E-05	0.0038	0.0454	Torsi
9	0.511	0.0271	9.78E-06	1.20E-05	X
10	0.477	3.06E-06	0.0632	0.0045	Y
11	0.421	1.80E-05	0.0025	0.0254	Torsi
12	0.36	0.0173	2.42E-06	1.59E-05	X
13	0.305	1.26E-05	2.49E-06	0.0173	Torsi
14	0.284	2.71E-06	0.0348	0.0002	Y

Tabel 4. 21 Periode dan Modal Participating Mass Ratio Dual Sistem Gempa Aceh

Mode	Periode	UX	UY	RZ	Arah
	s				
1	5.172	0.6987	2.39E-06	2.39E-05	X
2	4.266	4.99E-06	0.6189	0.0353	Y
3	3.571	2.45E-05	0.029	0.6886	Torsi
4	1.554	0.1354	2.52E-06	6.56E-06	X

5	1.195	2.17E-05	0.035	0.0853	Torsi
6	1.052	0	0.1273	0.0297	Y
7	0.8	0.0482	9.85E-07	1.58E-05	X
8	0.646	2.10E-05	0.0038	0.0454	Torsi
9	0.511	0.0271	9.78E-06	1.20E-05	X
10	0.477	3.06E-06	0.0632	0.0045	Y
11	0.421	1.80E-05	0.0025	0.0254	Torsi
12	0.36	0.0173	2.42E-06	1.59E-05	X
13	0.305	1.26E-05	2.49E-06	0.0173	Torsi
14	0.284	2.71E-06	0.0348	0.0002	Y

Dari hasil periode yang diperoleh didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Periode alami yang dialami sistem *frame tube* untuk beban gempa Surabaya dan Aceh memiliki nilai periode alami yang sama pada semua mode dengan periode terbesar adalah 3,298 detik
2. Periode alami yang dialami oleh dual sistem untuk beban gempa Surabaya dan Aceh memiliki periode alami yang sama pada semua mode dengan periode terbesar adalah 5,172 detik
3. Periode alami sistem *frame tube* memiliki nilai periode alami yang lebih kecil daripada dual sistem yang

mengindikasikan bahwa sistem *frame tube* memiliki struktur yang lebih kaku

4. Dengan beban gempa beban gempa daerah yang berbeda, tidak memengaruhi besarnya nilai periode yang dialami masing-masing sistem struktur

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, sesuai dengan persamaan dalam mencari periode alami struktur, yaitu

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Dimana :

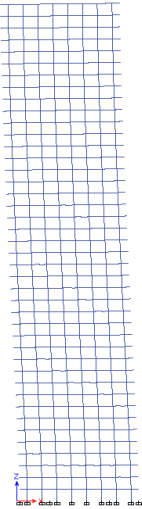
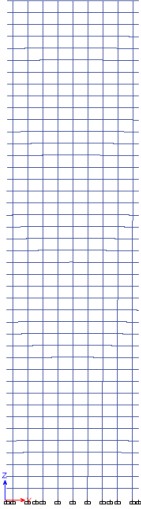
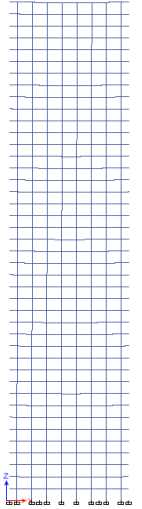
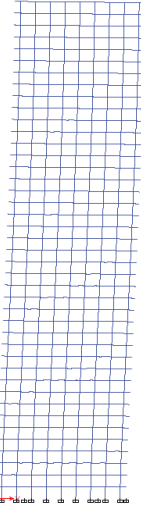
K = Kekakuan Struktur

ω = frekuensi dalam radians

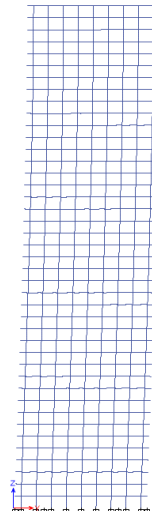
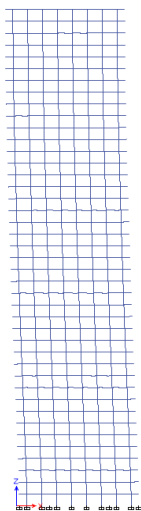
T = Periode alami

Dari persamaan diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar kekakuan struktur akan menghasilkan periode alami struktur yang semakin kecil. Periode alami tidak terpengaruh terhadap besarnya beban gempa. Masing masing sistem struktur mempunyai *mode shape* seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.22** dan **Tabel 4.23**

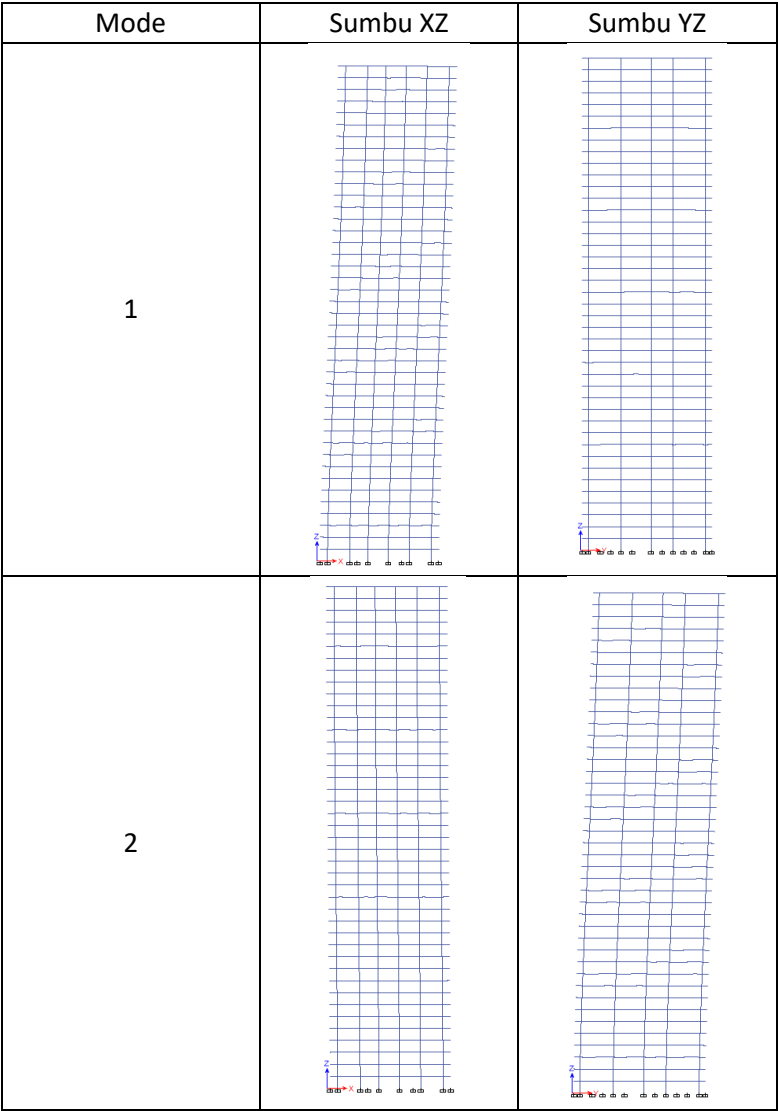
Tabel 4. 22 Mode Shape Sistem Frame Tube

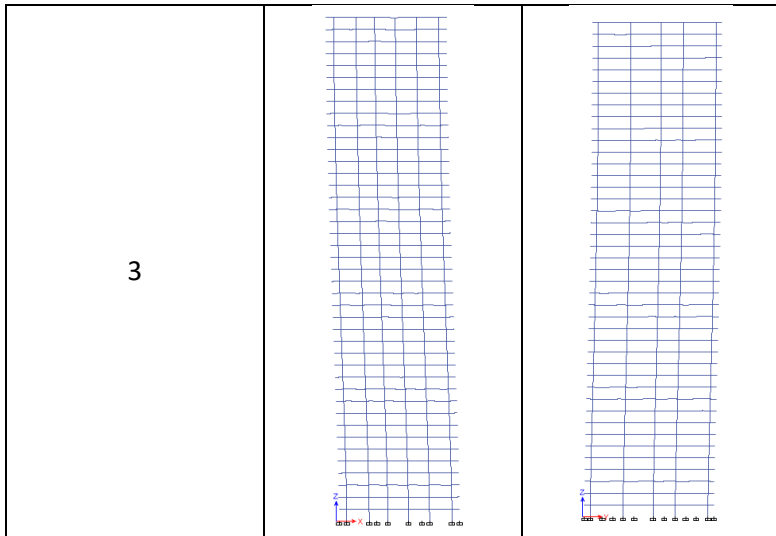
Mode	Sumbu XZ	Sumbu YZ
1		
2		

3



Tabel 4. 23 *Mode Shape Dual Sistem*





4.8 Base Shear Gempa Surabaya dan Gempa Aceh

Base Shear adalah sebuah cara untuk mengestimasi besarnya beban horizontal secara statik yang terjadi pada gedung apabila terkena beban lateral seperti beban angin dan gempa. Besarnya base shear dapat menjadi sebuah indikasi bahwa gedung tersebut :

1. Memiliki massa struktur yang besar ,
2. Memiliki kekakuan yang besar,
3. Semakin dekatnya lokasi gedung dengan daerah yang rawan gempa.

Berikut adalah besarnya base shear yang dialami oleh kedua sistem struktur *frame tube* dan dual sistem pada gempa Surabaya dan gempa Aceh

4.8.1 Base Shear Gempa Daerah Surabaya

Gempa di daerah kota Surabaya yang menurut respon spectral yang didapatkan adalah sebagai berikut :

- Situs = Tanah Lunak (SE)

- PGA (g) = 0,325
- S_s (g) = 0,663
- S₁ = 0,247
- F_a = 1,374
- F_v = 3,011
- S_{MS} = 0,911
- S_{M1} = 0,744
- S_{DS} = 0,607
- S_{D1} = 0,496
- KDS = D

Memiliki dampak terhadap bangunan dengan sistem *frame tube* yang dapat dilihat pada tabel

Tabel 4. 24 Perbandingan Base Shear Gempa Surabaya

Base Shear		Frame Tube (kN)	Dual Sistem (kN)
Statik	EQ X	13174.1	11806.3
	EQ Y	13174.1	11806.3
Dinamis	RS X	11438.42	9962.8
	RS Y	11426.88	10107.8

Berdasarkan hasil yang diperoleh, sistem *frame tube* memiliki *base shear* yang lebih besar di semua pembebanan gempa baik statik (EQ X dan EQ Y) maupun dinamis (RS X dan RS Y) sehingga dapat disimpulkan dua hal, yaitu

1. Sistem *frame tube* memiliki massa struktur yang lebih besar daripada dual sistem
2. Sistem *frame tube* memiliki struktur yang lebih kaku daripada dual sistem

4.8.2 Base Shear Gempa Daerah Aceh

Gempa di daerah Aceh yang menurut respon spectral yang didapatkan adalah sebagai berikut :

- Situs = Tanah Keras (SC)
- PGA (g) = 0,325
- S_s (g) = 1,355
- S₁ = 0,646
- F_a = 1
- F_v = 1,3
- S_{MS} = 1,355
- S_{M1} = 0,839
- S_{DS} = 0,903
- S_{D1} = 0,559
- KDS = D

Memiliki dampak terhadap bangunan dengan dual sistem yang dapat dilihat pada tabel

Tabel 4. 25 Perbandingan Base Shear Gempa Aceh

Base Shear		Frame Tube (kN)	Dual Sistem (kN)
Statik	EQ X	22749.1	19143
	EQ Y	22749.1	19143
Dinamis	RS X	196081.1	17013.7
	RS Y	19464.38	16779.3

Berdasarkan hasil yang diperoleh, sistem *frame tube* memiliki *base shear* yang lebih besar di semua pembebanan gempa baik statik (EQ X dan EQ Y) maupun dinamis (RS X dan RS Y) untuk wilayah Aceh sehingga dapat disimpulkan dua hal, yaitu

1. Sistem *frame tube* memiliki massa struktur yang lebih besar daripada dual sistem
2. Sistem *frame tube* memiliki struktur yang lebih kaku daripada dual sistem

4.8.3 Perbandingan *Base Shear* di Surabaya dan Aceh

Daerah Surabaya dan Aceh memiliki perbedaan lokasi, dari yaitu berbeda pulau dan berbeda dalam hal kerentanan suatu daerah terhadap gempa yang juga akan berpengaruh terhadap besarnya base shear. Berikut ini yang ditunjukkan pada tabel adalah hasil studi base shear antara daerah Surabaya dan Aceh untuk masing masing sistem struktur.

Tabel 4. 26 Perbandingan Base Shear Frame Tube Daerah Surabaya & Aceh

Base Shear		Surabaya (kN)	Aceh (kN)
Statik	EQ X	13174.1	22749.1
	EQ Y	13174.1	22749.1
Dinamis	RS X	11438.42	196081.1
	RS Y	11426.88	19464.38

Tabel 4. 27 Perbandingan Base Shear Dual Sistem Daerah Surabaya & Aceh

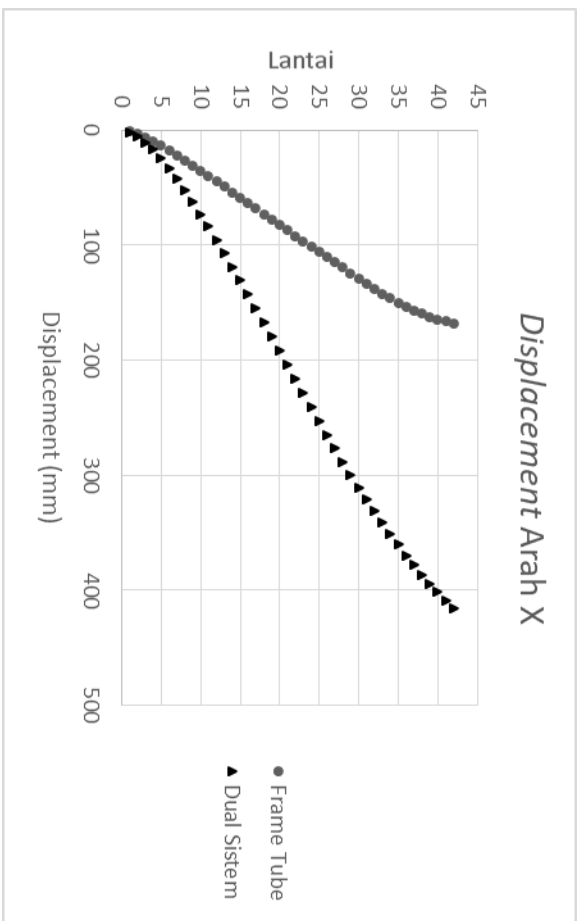
Base Shear		Surabaya (kN)	Aceh (kN)
Statik	EQ X	11806.3	19143
	EQ Y	11806.3	19143
Dinamis	RS X	9962.8	17013.7
	RS Y	10107.8	16779.3

Berdasarkan hasil yang diperoleh, *base shear* yang dihasilkan di daerah Aceh selalu lebih besar dibandingkan dengan *base shear* daerah Surabaya, baik pada sistem *frame tube* maupun dual sistem. Hal ini berarti dapat disimpulkan bahwa lokasi sebuah gedung yang rawan terhadap gempa mengakibatkan *base shear* yang lebih besar dari daerah yang tidak rentan terhadap gempa. Hal ini sesuai dengan persamaan base shear, $V_s = C_s \times W_t$, dimana C_s

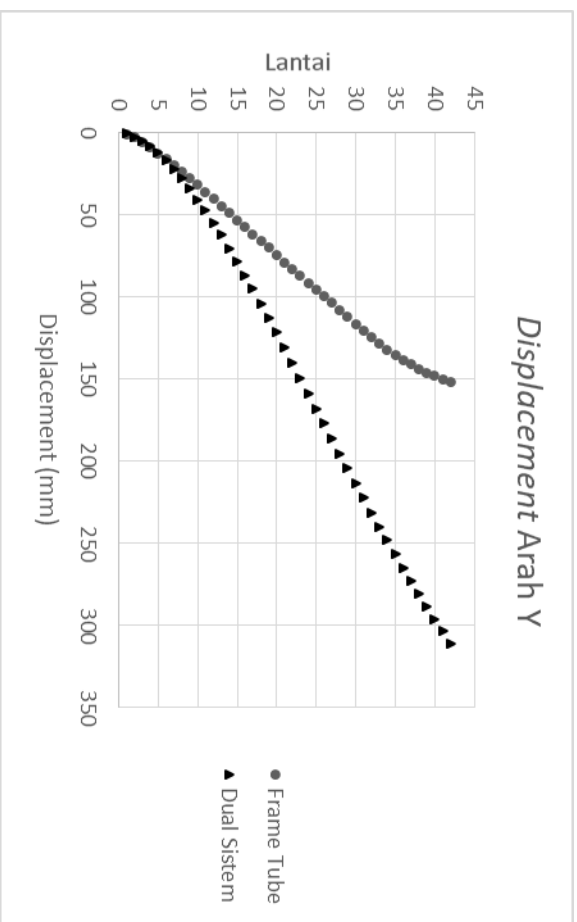
adalah koefisien gempa sesuai dengan daerah lokasi gedung dibangun.

4.9 Simpangan (*Displacement*)

Simpangan atau *Displacement* menjadi salah satu parameter untuk mengukur tingkat kekakuan suatu sistem struktur, semakin kecil simpangan yang dihasilkan, semakin meningkat juga tingkat kekakuan suatu sistem struktur tersebut. Simpangan sendiri adalah besarnya jarak perpindahan suatu struktur dari keadaan diam dan berdeformasi secara lateral akibat beban gempa atau angin. Berikut pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** menunjukkan simpangan masing-masing sistem struktur untuk arah X dan arah Y



Gambar 4. 7 Simpangan Arah X



Gambar 4. 8 Simpangan Arah Y

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** pada semua arah, yaitu sumbu X dan Sumbu Y *frame tube* memiliki simpangan yang lebih kecil daripada simpangan yang dimiliki dual sistem. Simpangan rata-rata baik arah X maupun arah Y yang dihasilkan pada sistem *frame tube* 59% lebih kecil daripada simpangan pada dual sistem. Dapat disimpulkan karena memiliki nilai simpangan yang lebih kecil daripada dual sistem sistem *frame tube* memiliki struktur yang lebih kaku daripada dual sistem

4.10 Simpangan Antar Lantai (Drift)

Berdasarkan SNI Pasal 7.12.1.1 simpangan antar lantai desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin. Fungsi bangunan pada studi ini adalah apartemen yang berada di kategori desain seismic D, maka simpangan antar lantai maksimum yang diijinkan sebesar $0,02 h_{sx}$ dengan nilai C_d sebesar 5,5, factor keutamaan 1. Berikut contoh hitungan simpangan antar lantai

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$h_{sx} = 3200 \text{ mm}$$

$$\text{Displacement lantai 42} = 168,2 \text{ mm}$$

$$\text{Displacement lantai 41} = 166,5 \text{ mm}$$

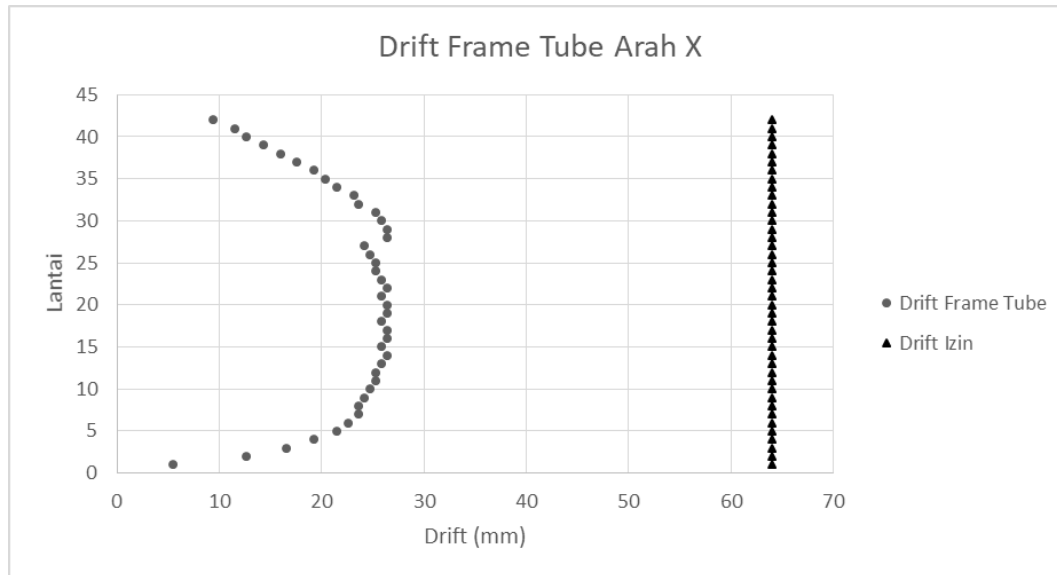
$$\text{Drift desain} = \frac{(168,2 - 166,5) \times 5,5}{1} = 9,35 \text{ mm}$$

$$\text{Drift ijin} = 0,02 h_{sx} = 0,02 \times 3200 = 64 \text{ mm}$$

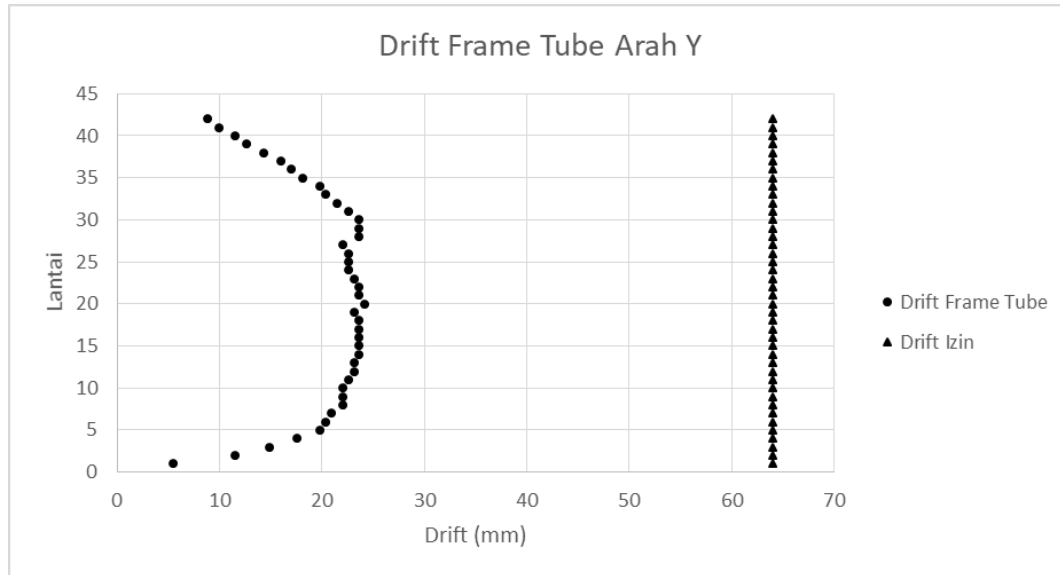
$$\text{Drift desain} < \text{drift ijin}$$

$$9,35 < 64 \dots \text{OK}$$

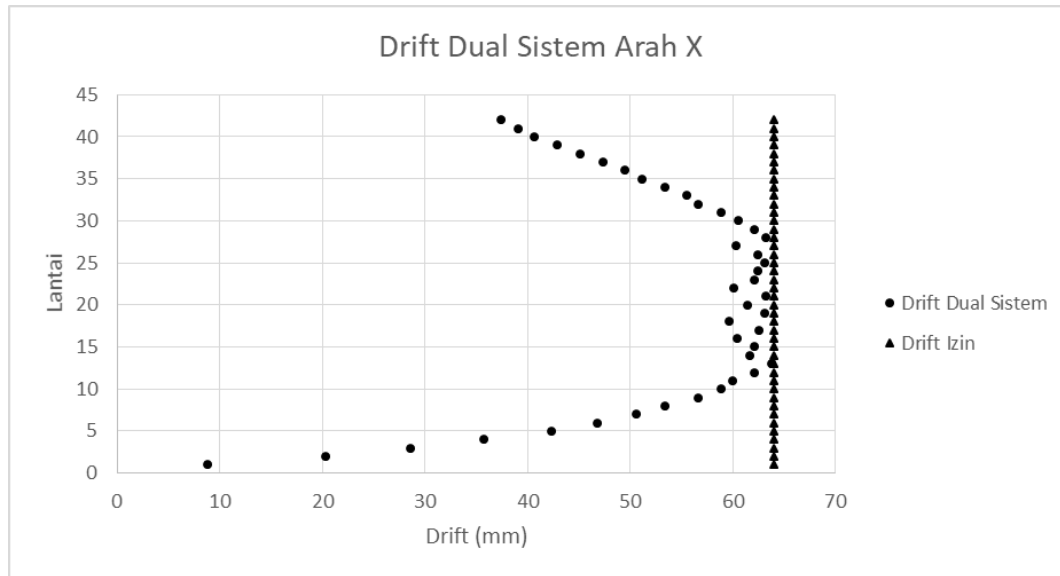
Berikut detail drift dari sistem *frame tube* dan dual sistem berdasarkan gempa daerah Surabaya dan Aceh ditunjukkan dalam **Gambar 4.9** sampai **Gambar 4.16**



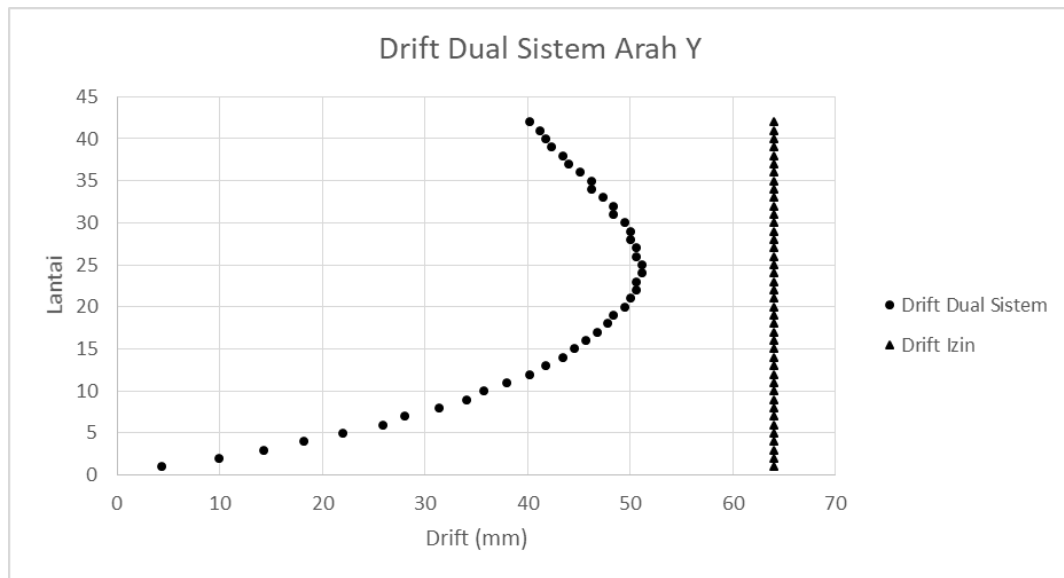
Gambar 4. 9 Gambar Drift Frame Tube Arah X
Gempa Surabaya



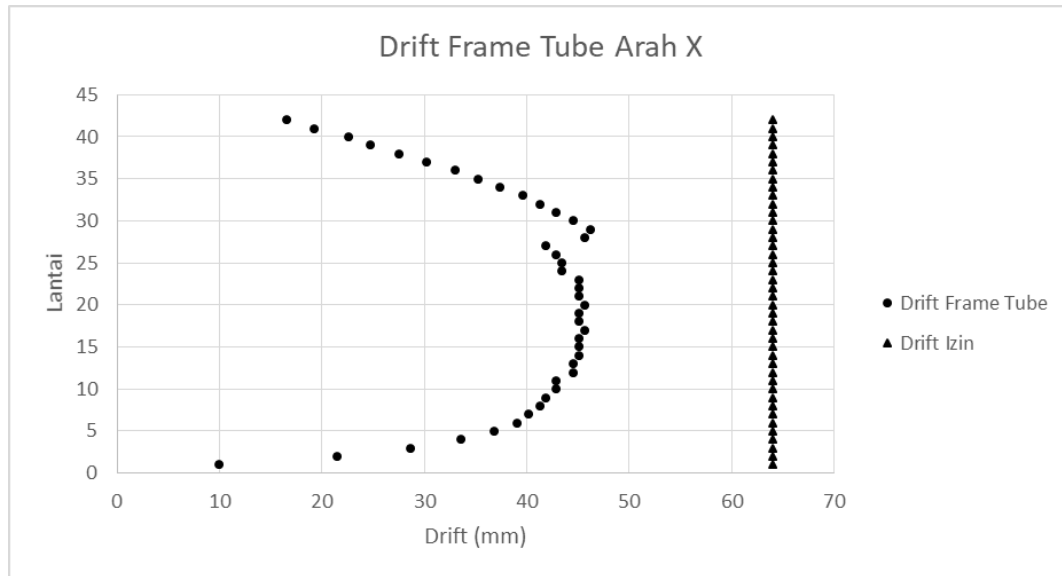
Gambar 4. 10 Drift Frame Tube Arah Y Gempa Surabaya



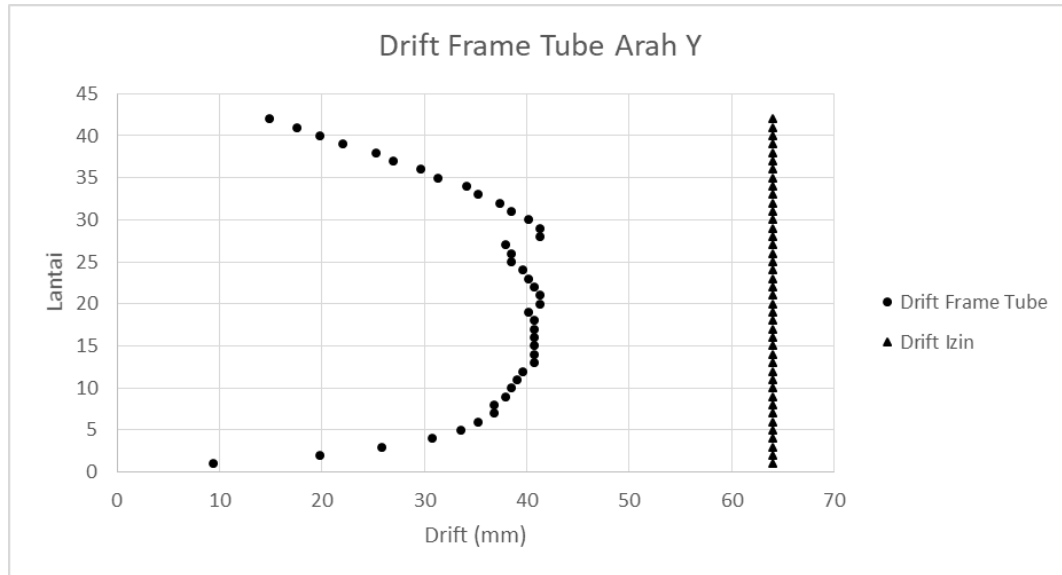
Gambar 4. 11 Drift Dual Sistem Arah X Gempa Surabaya



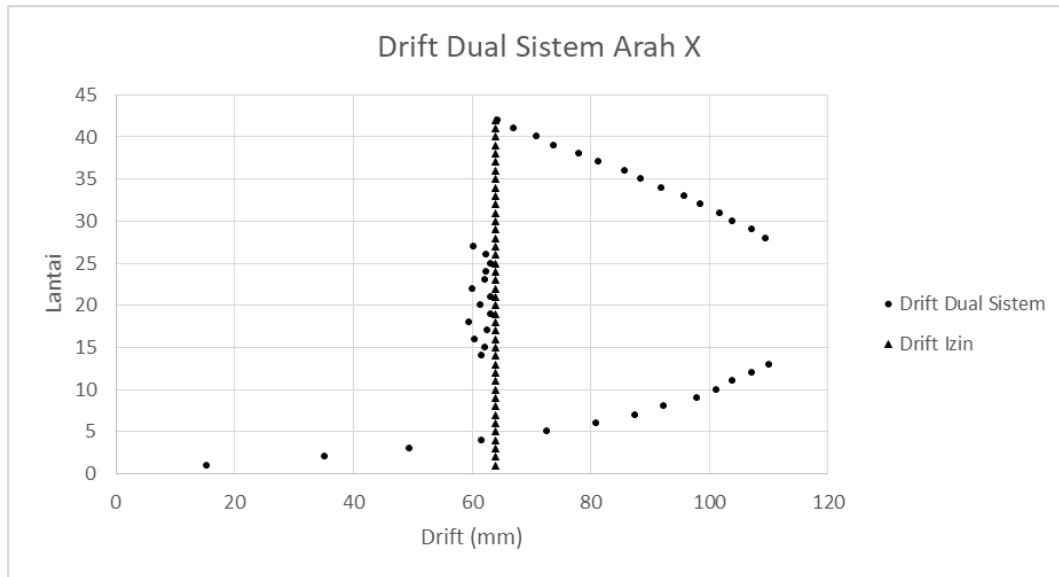
Gambar 4. 12 Drift Dual Sistem Arah Y Gempa Surabaya



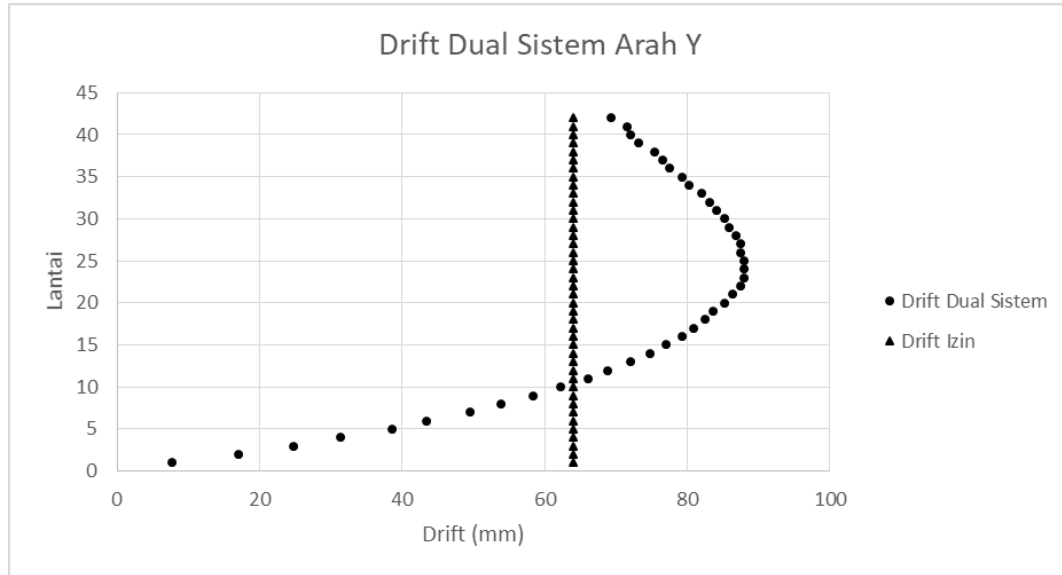
Gambar 4. 13 Drift Frame Tube Arah X Gempa Aceh



Gambar 4. 14 Drift Frame Tube Arah Y Gempa Aceh



Gambar 4.15 Drift Dual Sistem Arah X
Gempa Aceh



Gambar 4. 16 *Drift Dual Sistem Arah Y Gempa Aceh*

Berdasarkan hasil yang diperoleh, untuk beban gempa daerah Surabaya, *frame tube* masih sangat memenuhi syarat ijin drift karena memiliki rentang drift desain dan drift ijin yang jauh memenuhi syarat, baik untuk arah X maupun arah Y. Untuk dual sistem dengan beban gempa daerah Surabaya untuk arah X, dual sistem memiliki nilai drift yang sangat kritis dengan nilai hanya berbeda 0,75 mm lebih kecil daripada drift ijin, sedangkan untuk arah Y masih memenuhi syarat drift ijin. Hal ini dikarenakan bangunan memiliki sumbu kuat yaitu arah Y daripada arah X.

Untuk beban gempa daerah Aceh, drift desain *frame tube* masih memenuhi syarat drift ijin untuk arah X dan arah Y, sedangkan untuk dual sistem, baik untuk beban gempa arah X dan arah Y sudah melampaui syarat drift ijin. Hal ini bahwa pengaruh lokasi dimana gedung akan dibangun sangat berdampak pada simpangan dan drift bangunan karena beban gempa kota Surabaya lebih kecil dari beban gempa daripada beban gempa Aceh yang lebih besar. Dalam hal ini dapat didapat kesimpulan bahwa sistem *frame tube* dapat dijadikan alternatif untuk sistem struktur bangunan bertingkat tinggi di daerah rawan gempa.

Berikut ini detail nilai simpangan dan drift dari sistem *frame tube* dan dual sistem di dua lokasi, yaitu Surabaya dan Aceh yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.28** sampai dengan **Tabel 4.35**

Tabel 4. 28 Drift Frame Tube Arah X Beban Gempa Aceh

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	290.5	16.5	64	OK
41	3200	287.5	19.25	64	OK
40	3200	284	22.55	64	OK
39	3200	279.9	24.75	64	OK
38	3200	275.4	27.5	64	OK

37	3200	270.4	30.25	64	OK
36	3200	264.9	33	64	OK
35	3200	258.9	35.2	64	OK
34	3200	252.5	37.4	64	OK
33	3200	245.7	39.6	64	OK
32	3200	238.5	41.25	64	OK
31	3200	231	42.9	64	OK
30	3200	223.2	44.55	64	OK
29	3200	215.1	46.2	64	OK
28	3200	206.7	45.65	64	OK
27	3200	198.4	41.8	64	OK
26	3200	190.8	42.9	64	OK
25	3200	183	43.45	64	OK
24	3200	175.1	43.45	64	OK
23	3200	167.2	45.1	64	OK
22	3200	159	45.1	64	OK
21	3200	150.8	45.1	64	OK
20	3200	142.6	45.65	64	OK
19	3200	134.3	45.1	64	OK
18	3200	126.1	45.1	64	OK
17	3200	117.9	45.65	64	OK
16	3200	109.6	45.1	64	OK
15	3200	101.4	45.1	64	OK
14	3200	93.2	45.1	64	OK
13	3200	85	44.55	64	OK
12	3200	76.9	44.55	64	OK
11	3200	68.8	42.9	64	OK
10	3200	61	42.9	64	OK
9	3200	53.2	41.8	64	OK
8	3200	45.6	41.25	64	OK

7	3200	38.1	40.15	64	OK
6	3200	30.8	39.05	64	OK
5	3200	23.7	36.85	64	OK
4	3200	17	33.55	64	OK
3	3200	10.9	28.6	64	OK
2	3200	5.7	21.45	64	OK
1	3200	1.8	9.9	64	OK

Tabel 4. 29 Tabel Drift Frame Tube Arah Y Beban Gempa Aceh

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	262	14.85	64	OK
41	3200	259.3	17.6	64	OK
40	3200	256.1	19.8	64	OK
39	3200	252.5	22	64	OK
38	3200	248.5	25.3	64	OK
37	3200	243.9	26.95	64	OK
36	3200	239	29.7	64	OK
35	3200	233.6	31.35	64	OK
34	3200	227.9	34.1	64	OK
33	3200	221.7	35.2	64	OK
32	3200	215.3	37.4	64	OK
31	3200	208.5	38.5	64	OK
30	3200	201.5	40.15	64	OK
29	3200	194.2	41.25	64	OK
28	3200	186.7	41.25	64	OK
27	3200	179.2	37.95	64	OK

26	3200	172.3	38.5	64	OK
25	3200	165.3	38.5	64	OK
24	3200	158.3	39.6	64	OK
23	3200	151.1	40.15	64	OK
22	3200	143.8	40.7	64	OK
21	3200	136.4	41.25	64	OK
20	3200	128.9	41.25	64	OK
19	3200	121.4	40.15	64	OK
18	3200	114.1	40.7	64	OK
17	3200	106.7	40.7	64	OK
16	3200	99.3	40.7	64	OK
15	3200	91.9	40.7	64	OK
14	3200	84.5	40.7	64	OK
13	3200	77.1	40.7	64	OK
12	3200	69.7	39.6	64	OK
11	3200	62.5	39.05	64	OK
10	3200	55.4	38.5	64	OK
9	3200	48.4	37.95	64	OK
8	3200	41.5	36.85	64	OK
7	3200	34.8	36.85	64	OK
6	3200	28.1	35.2	64	OK
5	3200	21.7	33.55	64	OK
4	3200	15.6	30.8	64	OK
3	3200	10	25.85	64	OK
2	3200	5.3	19.8	64	OK
1	3200	1.7	9.35	64	OK

Tabel 4. 30 Drift Dual Sistem Arah X Beban Gempa Aceh

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	717.3	64.35	64	NOT OK
41	3200	705.6	67.1	64	NOT OK
40	3200	693.4	70.95	64	NOT OK
39	3200	680.5	73.7	64	NOT OK
38	3200	667.1	78.1	64	NOT OK
37	3200	652.9	81.4	64	NOT OK
36	3200	638.1	85.8	64	NOT OK
35	3200	622.5	88.55	64	NOT OK
34	3200	606.4	91.85	64	NOT OK
33	3200	589.7	95.7	64	NOT OK
32	3200	572.3	98.45	64	NOT OK
31	3200	554.4	101.75	64	NOT OK
30	3200	535.9	103.95	64	NOT OK
29	3200	517	107.25	64	NOT OK
28	3200	497.5	109.45	64	NOT OK
27	3200	477.6	60.3	64	OK
26	3200	457.4	62.4	64	OK
25	3200	436.9	63.1	64	OK
24	3200	416.1	62.4	64	OK
23	3200	395	62.12	64	OK
22	3200	373.8	60.14	64	OK
21	3200	352.4	63.25	64	OK
20	3200	330.9	61.4	64	OK
19	3200	309.5	63.1	64	OK
18	3200	288.3	59.6	64	OK

17	3200	267.3	62.6	64	OK
16	3200	246.3	60.45	64	OK
15	3200	225.5	62.14	64	OK
14	3200	204.9	61.6	64	OK
13	3200	184.6	110	64	NOT OK
12	3200	164.6	107.25	64	NOT OK
11	3200	145.1	103.95	64	NOT OK
10	3200	126.2	101.2	64	NOT OK
9	3200	107.8	97.9	64	NOT OK
8	3200	90	92.4	64	NOT OK
7	3200	73.2	87.45	64	NOT OK
6	3200	57.3	80.85	64	NOT OK
5	3200	42.6	72.6	64	NOT OK
4	3200	29.4	61.6	64	OK
3	3200	18.2	49.5	64	OK
2	3200	9.2	35.2	64	OK
1	3200	2.8	15.4	64	OK

Tabel 4. 31 Tabel Drift Dual Sistem Arah Y Beban Gempa Aceh

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	536.6	69.3	64	NOT OK
41	3200	524	71.5	64	NOT OK
40	3200	511	72.05	64	NOT OK
39	3200	497.9	73.15	64	NOT OK
38	3200	484.6	75.35	64	NOT OK
37	3200	470.9	76.45	64	NOT OK

36	3200	457	77.55	64	NOT OK
35	3200	442.9	79.2	64	NOT OK
34	3200	428.5	80.3	64	NOT OK
33	3200	413.9	81.95	64	NOT OK
32	3200	399	83.05	64	NOT OK
31	3200	383.9	84.15	64	NOT OK
30	3200	368.6	85.25	64	NOT OK
29	3200	353.1	85.8	64	NOT OK
28	3200	337.5	86.9	64	NOT OK
27	3200	321.7	87.45	64	NOT OK
26	3200	305.8	87.45	64	NOT OK
25	3200	289.9	88	64	NOT OK
24	3200	273.9	88	64	NOT OK
23	3200	257.9	88	64	NOT OK
22	3200	241.9	87.45	64	NOT OK
21	3200	226	86.35	64	NOT OK
20	3200	210.3	85.25	64	NOT OK
19	3200	194.8	83.6	64	NOT OK
18	3200	179.6	82.5	64	NOT OK
17	3200	164.6	80.85	64	NOT OK
16	3200	149.9	79.2	64	NOT OK
15	3200	135.5	77	64	NOT OK
14	3200	121.5	74.8	64	NOT OK
13	3200	107.9	72.05	64	NOT OK
12	3200	94.8	68.75	64	NOT OK
11	3200	82.3	66	64	NOT OK
10	3200	70.3	62.15	64	OK
9	3200	59	58.3	64	OK
8	3200	48.4	53.9	64	OK
7	3200	38.6	49.5	64	OK

6	3200	29.6	43.45	64	OK
5	3200	21.7	38.5	64	OK
4	3200	14.7	31.35	64	OK
3	3200	9	24.75	64	OK
2	3200	4.5	17.05	64	OK
1	3200	1.4	7.7	64	OK

Tabel 4. 32 Tabel Drift Frame Tube Arah X Beban Gempa
Surabaya

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	168.2	9.35	64	OK
41	3200	166.5	11.55	64	OK
40	3200	164.4	12.65	64	OK
39	3200	162.1	14.3	64	OK
38	3200	159.5	15.95	64	OK
37	3200	156.6	17.6	64	OK
36	3200	153.4	19.25	64	OK
35	3200	149.9	20.35	64	OK
34	3200	146.2	21.45	64	OK
33	3200	142.3	23.1	64	OK
32	3200	138.1	23.65	64	OK
31	3200	133.8	25.3	64	OK
30	3200	129.2	25.85	64	OK
29	3200	124.5	26.4	64	OK
28	3200	119.7	26.4	64	OK
27	3200	114.9	24.2	64	OK

26	3200	110.5	24.75	64	OK
25	3200	106	25.3	64	OK
24	3200	101.4	25.3	64	OK
23	3200	96.8	25.85	64	OK
22	3200	92.1	26.4	64	OK
21	3200	87.3	25.85	64	OK
20	3200	82.6	26.4	64	OK
19	3200	77.8	26.4	64	OK
18	3200	73	25.85	64	OK
17	3200	68.3	26.4	64	OK
16	3200	63.5	26.4	64	OK
15	3200	58.7	25.85	64	OK
14	3200	54	26.4	64	OK
13	3200	49.2	25.85	64	OK
12	3200	44.5	25.3	64	OK
11	3200	39.9	25.3	64	OK
10	3200	35.3	24.75	64	OK
9	3200	30.8	24.2	64	OK
8	3200	26.4	23.65	64	OK
7	3200	22.1	23.65	64	OK
6	3200	17.8	22.55	64	OK
5	3200	13.7	21.45	64	OK
4	3200	9.8	19.25	64	OK
3	3200	6.3	16.5	64	OK
2	3200	3.3	12.65	64	OK
1	3200	1	5.5	64	OK

Tabel 4. 33 Tabel Drift Frame Tube Arah Y Beban Gempa Surabaya

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	151.7	8.8	64	OK
41	3200	150.1	9.9	64	OK
40	3200	148.3	11.55	64	OK
39	3200	146.2	12.65	64	OK
38	3200	143.9	14.3	64	OK
37	3200	141.3	15.95	64	OK
36	3200	138.4	17.05	64	OK
35	3200	135.3	18.15	64	OK
34	3200	132	19.8	64	OK
33	3200	128.4	20.35	64	OK
32	3200	124.7	21.45	64	OK
31	3200	120.8	22.55	64	OK
30	3200	116.7	23.65	64	OK
29	3200	112.4	23.65	64	OK
28	3200	108.1	23.65	64	OK
27	3200	103.8	22	64	OK
26	3200	99.8	22.55	64	OK
25	3200	95.7	22.55	64	OK
24	3200	91.6	22.55	64	OK
23	3200	87.5	23.1	64	OK
22	3200	83.3	23.65	64	OK
21	3200	79	23.65	64	OK
20	3200	74.7	24.2	64	OK

19	3200	70.3	23.1	64	OK
18	3200	66.1	23.65	64	OK
17	3200	61.8	23.65	64	OK
16	3200	57.5	23.65	64	OK
15	3200	53.2	23.65	64	OK
14	3200	48.9	23.65	64	OK
13	3200	44.6	23.1	64	OK
12	3200	40.4	23.1	64	OK
11	3200	36.2	22.55	64	OK
10	3200	32.1	22	64	OK
9	3200	28.1	22	64	OK
8	3200	24.1	22	64	OK
7	3200	20.1	20.9	64	OK
6	3200	16.3	20.35	64	OK
5	3200	12.6	19.8	64	OK
4	3200	9	17.6	64	OK
3	3200	5.8	14.85	64	OK
2	3200	3.1	11.55	64	OK
1	3200	1	5.5	64	OK

Tabel 4. 34 Tabel Drift Dual Sistem Arah X Beban Gempa Surabaya

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	415.4	37.4	64	OK
41	3200	408.6	39.05	64	OK
40	3200	401.5	40.7	64	OK

39	3200	394.1	42.9	64	OK
38	3200	386.3	45.1	64	OK
37	3200	378.1	47.3	64	OK
36	3200	369.5	49.5	64	OK
35	3200	360.5	51.15	64	OK
34	3200	351.2	53.35	64	OK
33	3200	341.5	55.55	64	OK
32	3200	331.4	56.65	64	OK
31	3200	321.1	58.85	64	OK
30	3200	310.4	60.5	64	OK
29	3200	299.4	62.15	64	OK
28	3200	288.1	63.25	64	OK
27	3200	276.6	60.3	64	OK
26	3200	264.9	62.4	64	OK
25	3200	253	63.1	64	OK
24	3200	241	62.4	64	OK
23	3200	228.8	62.12	64	OK
22	3200	216.5	60.14	64	OK
21	3200	204.1	63.25	64	OK
20	3200	191.7	61.4	64	OK
19	3200	179.2	63.1	64	OK
18	3200	167	59.6	64	OK
17	3200	154.8	62.6	64	OK
16	3200	142.6	60.45	64	OK
15	3200	130.6	62.14	64	OK
14	3200	118.7	61.6	64	OK
13	3200	106.9	63.8	64	OK
12	3200	95.3	62.15	64	OK
11	3200	84	59.95	64	OK
10	3200	73.1	58.85	64	OK

9	3200	62.4	56.65	64	OK
8	3200	52.1	53.35	64	OK
7	3200	42.4	50.6	64	OK
6	3200	33.2	46.75	64	OK
5	3200	24.7	42.35	64	OK
4	3200	17	35.75	64	OK
3	3200	10.5	28.6	64	OK
2	3200	5.3	20.35	64	OK
1	3200	1.6	8.8	64	OK

Tabel 4. 35 Tabel Drift Dual Sistem Arah Y Beban Gempa
Surabaya

Lantai	Hsx	Displacement	$\Delta S \times C$	Diizinkan	Keterangan
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
42	3200	310.7	40.15	64	OK
41	3200	303.4	41.25	64	OK
40	3200	295.9	41.8	64	OK
39	3200	288.3	42.35	64	OK
38	3200	280.6	43.45	64	OK
37	3200	272.7	44	64	OK
36	3200	264.7	45.1	64	OK
35	3200	256.5	46.2	64	OK
34	3200	248.1	46.2	64	OK
33	3200	239.7	47.3	64	OK
32	3200	231.1	48.4	64	OK
31	3200	222.3	48.4	64	OK
30	3200	213.5	49.5	64	OK

29	3200	204.5	50.05	64	OK
28	3200	195.4	50.05	64	OK
27	3200	186.3	50.6	64	OK
26	3200	177.1	50.6	64	OK
25	3200	167.9	51.15	64	OK
24	3200	158.6	51.15	64	OK
23	3200	149.3	50.6	64	OK
22	3200	140.1	50.6	64	OK
21	3200	130.9	50.05	64	OK
20	3200	121.8	49.5	64	OK
19	3200	112.8	48.4	64	OK
18	3200	104	47.85	64	OK
17	3200	95.3	46.75	64	OK
16	3200	86.8	45.65	64	OK
15	3200	78.5	44.55	64	OK
14	3200	70.4	43.45	64	OK
13	3200	62.5	41.8	64	OK
12	3200	54.9	40.15	64	OK
11	3200	47.6	37.95	64	OK
10	3200	40.7	35.75	64	OK
9	3200	34.2	34.1	64	OK
8	3200	28	31.35	64	OK
7	3200	22.3	28.05	64	OK
6	3200	17.2	25.85	64	OK
5	3200	12.5	22	64	OK
4	3200	8.5	18.15	64	OK
3	3200	5.2	14.3	64	OK
2	3200	2.6	9.9	64	OK
1	3200	0.8	4.4	64	OK

4.11 Pengaruh Beban Angin Terhadap Bangunan Bertingkat Tinggi

Angin merupakan salah satu beban lateral yang harus ditinjau apabila merencanakan bangunan bertingkat tinggi yang kurang lebih terhadap gedung yang memiliki jumlah lantai diatas 30. Saat merencanakan beban angin terhadap gedung, gedung tidak dapat dianggap berdiri sendiri tanpa memerhatikan lingkungan dan bangunan lain yang berada di sekitar gedung, Maka dari itu, ASCE 7-10 telah menetapkan standard untuk merencanakan beban angin terhadap struktur gedung, yaitu dengan membaginya kedalam tiga jenis Exposure, yaitu Exposure B yaitu daerah perkotaan besar dan daerah urban, Exposure C yaitu daerah yang minim gedung-gedung, kota-kota kecil, Exposure D yaitu daerah pantai, daerah dekat dengan lautan atau samudera dimana rawan terjadi angin topan

4.11.1 Pengaruh Beban Angin Terhadap Struktur *Frame Tube* dan Dual Sistem

Dalam studi ini, pembebanan angin terhadap sistem *frame tube* akan mengikuti standard pada ASCE 7-10 dan akan digunakan pembebanan menggunakan tiga daerah exposure sesuai ASCE 7-10 yaitu Exposure B, Exposure C, Exposure D dan akan dilakukan pembebanan pada ETABS sebagai berikut :

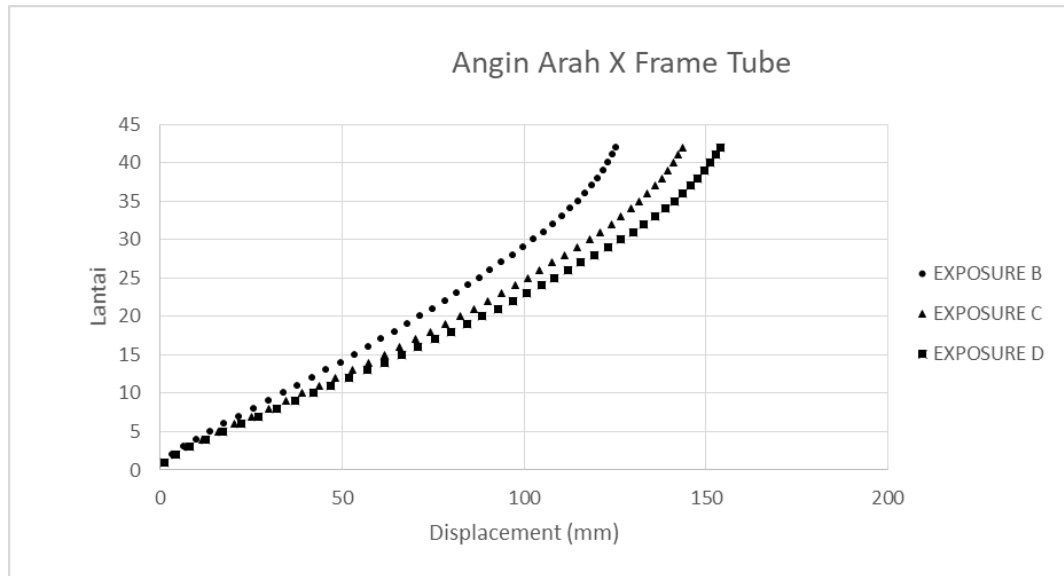
- Wind Speed = 120 mph
- Faktor Keutamaan (I) = 1
- Gust Factor

Tabel 4. 36 Gust Factor

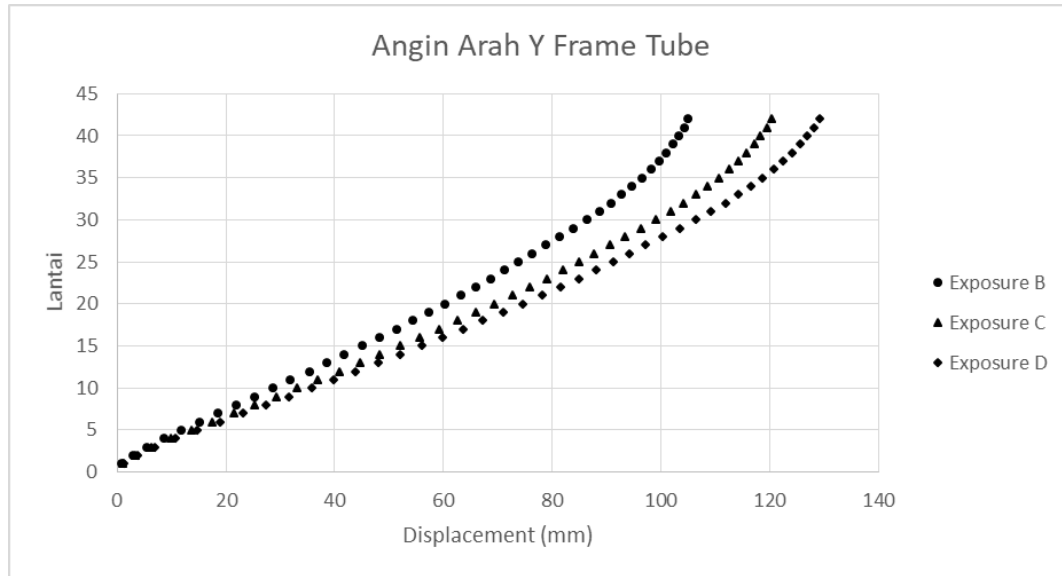
Wind Speed	Tipe Exposure		
	B	C	D
150	1,32	1,28	1,25
140	1,28	1,25	1,22
130	1,24	1,21	1,2

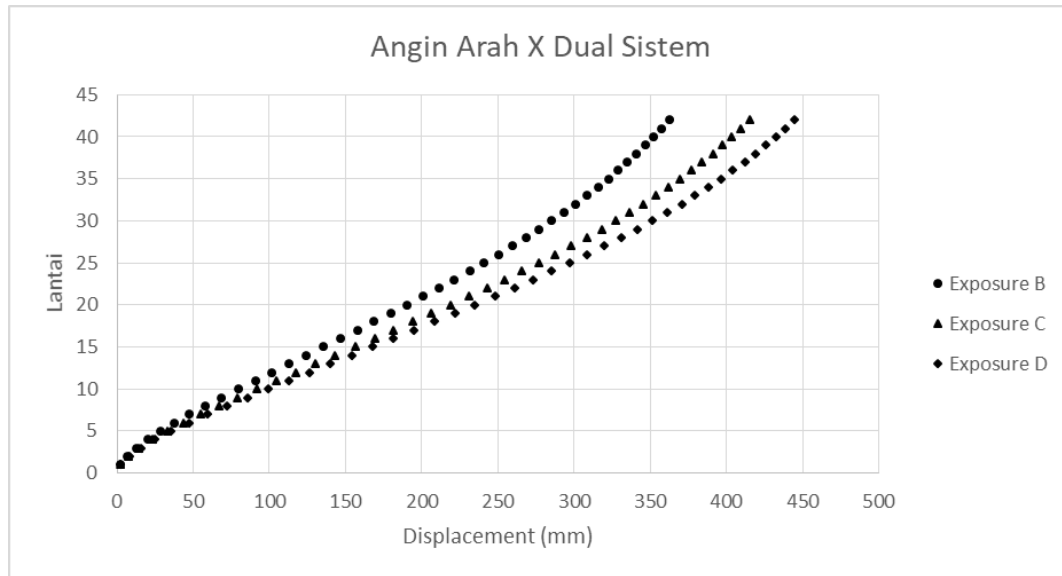
120	1,2	1,18	1,17
110	1,16	1,14	1,13
100	1,11	1,11	1,1
90	1,07	1,07	1,07
85	1,05	1,05	1,05

Hasil dari pembebanan angin terhadap *displacement* pada sistem *frame tube* dapat dilihat pada **Gambar 4.17** sampai dengan **Gambar 4.20**

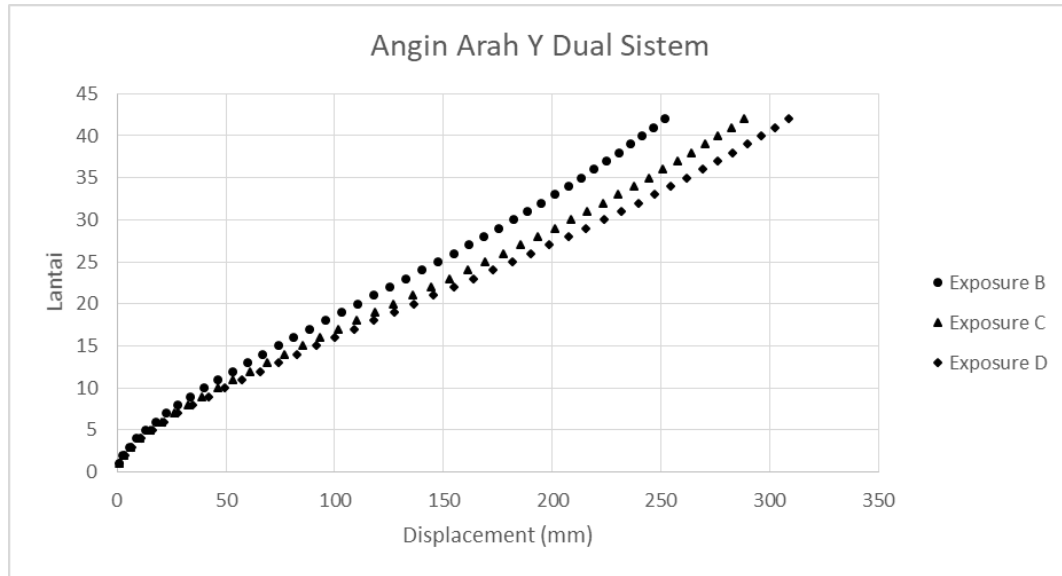


Gambar 4. 17 Grafik Displacement Angin Arah
X





Gambar 4. 19 Grafik Displacement Angin Arah
X



Gambar 4. 20 Grafik Displacement Angin Arah
Y

Berdasarkan hasil yang didapat, dapat ditarik kesimpulan bahwa dampak yang ditimbulkan terhadap gedung dalam hal ini *displacement* masing-masing sistem struktur, baik *frame tube* dan dual sistem terbesar dialami pada daerah eksposur D, dilanjutkan dengan eksposur C, dan kemudian yang terkecil eksposur B. Dampak dari tiga jenis exposure terhadap *displacement* gedung, rata-rata kenaikan nilai *displacement* dari exposure B ke C dan ke D adalah sebesar 11,4%. Lokasi gedung yang berada di dekat pantai, lautan, dan samudera lebih rentan terkena dampak beban angin karena angin bergerak tanpa hambatan sehingga dampak beban angin langsung diterima oleh bangunan yang berada di lokasi tersebut. Hal ini bila dibandingkan dengan daerah perkotaan yang banyak terdapat gedung-gedung tinggi, sehingga dapat mengurangi tekanan angin pada sebuah gedung

Berikut detail nilai simpangan ditunjukkan pada **Tabel 4.37** sampai dengan **Tabel 4.40** dibawah ini

Tabel 4. 37 Tabel Displacement Frame Tube Arah X

Lantai	Displacement (mm)		
	Exposure B	Exposure C	Exposure D
42	125.2	143.5	153.9
41	124.2	142.3	152.6
40	123	141	151.2
39	121.7	139.5	149.6
38	120.3	137.8	147.8
37	118.6	136	145.9
36	116.8	133.9	143.7
35	114.9	131.7	141.3
34	112.7	129.3	138.7
33	110.5	126.7	136
32	108	124	133
31	105.4	121	129.9

30	102.7	117.9	126.5
29	99.8	114.6	123
28	96.8	111.2	119.4
27	93.7	107.7	115.6
26	90.8	104.3	112.1
25	87.8	100.9	108.4
24	84.7	97.5	104.7
23	81.6	93.8	100.8
22	78.3	90.1	96.9
21	75	86.3	92.8
20	71.5	82.4	88.5
19	68	78.3	84.2
18	64.5	74.3	79.9
17	60.8	70.1	75.4
16	57.2	65.9	70.9
15	53.4	61.6	66.3
14	49.6	57.2	61.6
13	45.7	52.8	56.8
12	41.7	48.2	51.9
11	37.8	43.6	47
10	33.8	39.1	42.1
9	29.8	34.5	37.1
8	25.8	29.8	32.2
7	21.7	25.2	27.1
6	17.7	20.5	22.2
5	13.8	16	17.2
4	10	11.6	12.5
3	6.4	7.5	8.1
2	3.4	3.9	4.3
1	1.1	1.2	1.3

Tabel 4. 38 Displacement Frame Tube Arah Y

Lantai	Displacement (mm)		
	Exposure B	Exposure C	Exposure D
42	105	120.4	129.1
41	104.2	119.4	128.1
40	103.2	118.3	126.9
39	102.1	117.1	125.6
38	100.9	115.7	124.1
37	99.6	114.2	122.5
36	98.1	112.5	120.7
35	96.4	110.6	118.7
34	94.7	108.6	116.5
33	92.8	106.4	114.2
32	90.7	104.1	111.8
31	88.6	101.7	109.1
30	86.3	99.1	106.4
29	83.9	96.3	103.4
28	81.3	93.4	100.3
27	78.8	90.5	97.2
26	76.3	87.7	94.2
25	73.8	84.9	91.2
24	71.3	82	88.1
23	68.6	79	84.9
22	65.9	75.9	81.5
21	63.1	72.7	78.1
20	60.2	69.4	74.6
19	57.3	66	71
18	54.3	62.6	67.3
17	51.3	59.1	63.6

16	48.2	55.6	59.8
15	45.1	52	56
14	41.8	48.3	52
13	38.6	44.6	48
12	35.3	40.8	43.9
11	31.9	36.9	39.8
10	28.6	33.1	35.7
9	25.3	29.2	31.5
8	21.9	25.3	27.3
7	18.5	21.4	23.1
6	15.1	17.5	18.9
5	11.8	13.7	14.7
4	8.6	9.9	10.7
3	5.5	6.4	7
2	2.9	3.4	3.7
1	0.9	1.1	1.2

Tabel 4. 39 Tabel Displacement Dual Sistem Arah X

Lantai	Displacement (mm)		
	Exposure B	Exposure C	Exposure D
42	362.3	415	444.9
41	357.3	409.3	438.9
40	352.2	403.4	432.6
39	346.8	397.3	426
38	341.1	390.9	419.2
37	335.2	384.1	412
36	329	377.1	404.4
35	322.5	369.6	396.5
34	315.7	361.9	388.2

33	308.6	353.8	379.6
32	301.2	345.4	370.6
31	293.5	336.6	361.2
30	285.5	327.5	351.4
29	277.2	318.1	341.3
28	268.6	308.3	330.8
27	259.7	298.1	320
26	250.5	287.7	308.8
25	241.1	276.9	297.3
24	231.4	265.8	285.4
23	221.5	254.5	273.3
22	211.3	242.8	260.8
21	200.9	230.9	248.1
20	190.2	218.8	235.1
19	179.5	206.4	221.8
18	168.6	194.1	208.6
17	157.7	181.5	195.1
16	146.6	168.9	181.5
15	135.5	156.1	167.8
14	124.3	143.2	154.1
13	113.1	130.3	140.2
12	101.8	117.5	126.4
11	90.7	104.6	112.6
10	79.6	91.9	98.9
9	68.7	79.3	85.4
8	58	67	72.2
7	47.7	55.1	59.4
6	37.8	43.7	47.1
5	28.5	33	35.5
4	20	23.1	25

3	12.5	14.5	15.7
2	6.4	7.5	8.1
1	2	2.3	2.5

Tabel 4. 40 Tabel Displacement Dual Sistem Arah Y

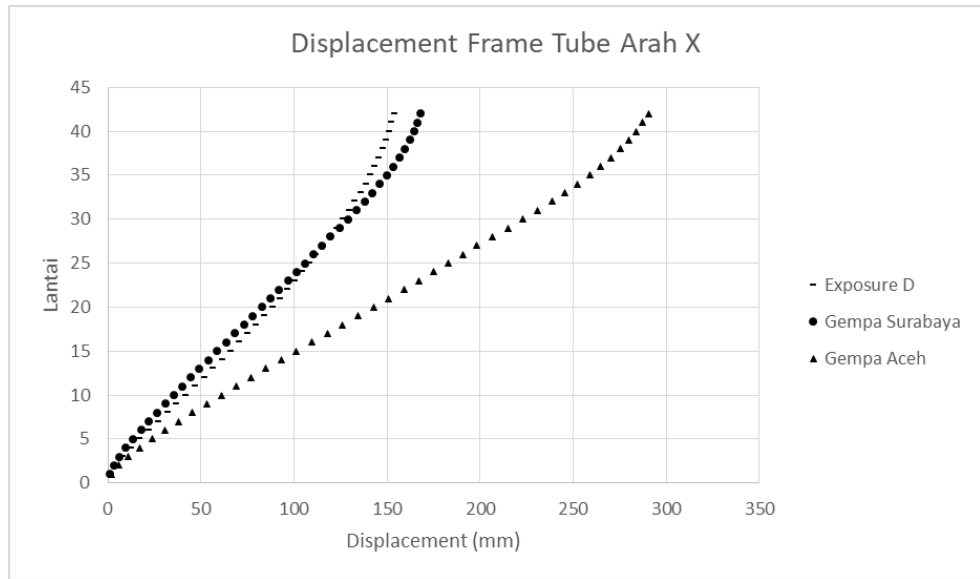
Lantai	Displacement (mm)		
	Exposure B	Exposure C	Exposure D
42	251.8	288.2	308.9
41	246.6	282.3	302.6
40	241.3	276.2	296.1
39	235.9	270.1	289.5
38	230.5	263.9	282.8
37	224.9	257.5	276
36	219.1	250.9	269
35	213.3	244.2	261.9
34	207.3	237.4	254.6
33	201.2	230.4	247.1
32	194.9	223.3	239.5
31	188.5	216	231.7
30	182	208.6	223.7
29	175.3	201	215.6
28	168.5	193.2	207.3
27	161.6	185.3	198.8
26	154.6	177.3	190.2
25	147.4	169.2	181.5
24	140.2	160.9	172.7
23	132.9	152.5	163.7
22	125.5	144.1	154.7
21	118.1	135.6	145.6

20	110.7	127.1	136.5
19	103.2	118.6	127.3
18	95.8	110.1	118.2
17	88.5	101.7	109.2
16	81.2	93.3	100.3
15	74	85.1	91.4
14	66.8	76.9	82.6
13	59.8	68.9	74
12	53	61	65.6
11	46.4	53.4	57.4
10	40	46.1	49.5
9	33.9	39	42
8	28.1	32.4	34.8
7	22.6	26.1	28.1
6	17.6	20.3	21.8
5	13	15	16.1
4	9	10.3	11.1
3	5.5	6.4	6.9
2	2.8	3.3	3.5
1	0.9	1	1.1

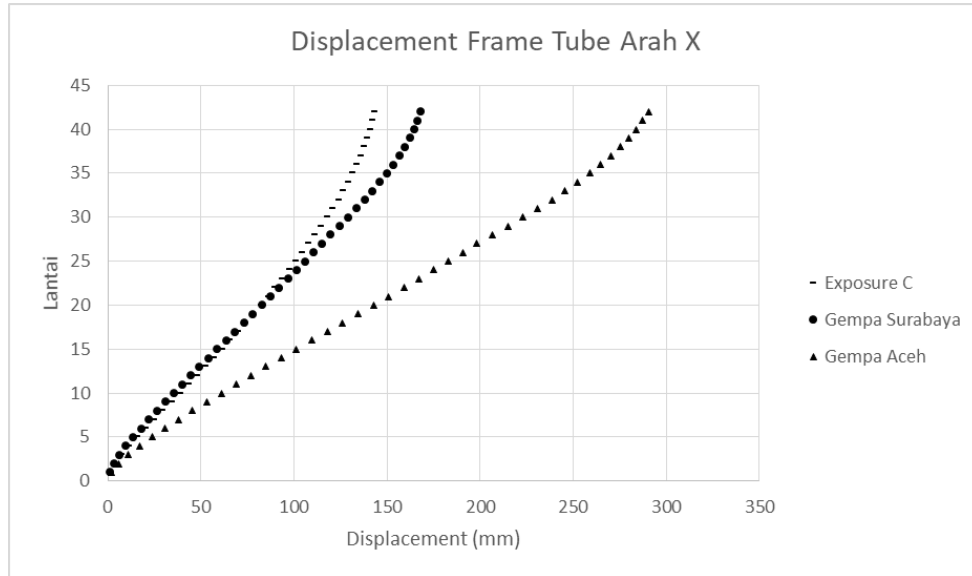
4.12 Perbandingan Pengaruh Pembebanan Angin dan Gempa

Beban angin dan gempa merupakan beban lateral yang harus diperhatikan dalam merencanakan sebuah gedung khususnya gedung bertingkat tinggi. Pengaruh dari kedua beban ini tentu berbeda sehingga dampak yang diberikan juga pasti berbeda. Dalam studi ini akan dibahas bagaimana perbandingan dampak beban angin dan beban gempa terhadap *displacement* sebuah gedung bertingkat tinggi. Beban angin dengan tiga wilayah exposure yang berbeda-

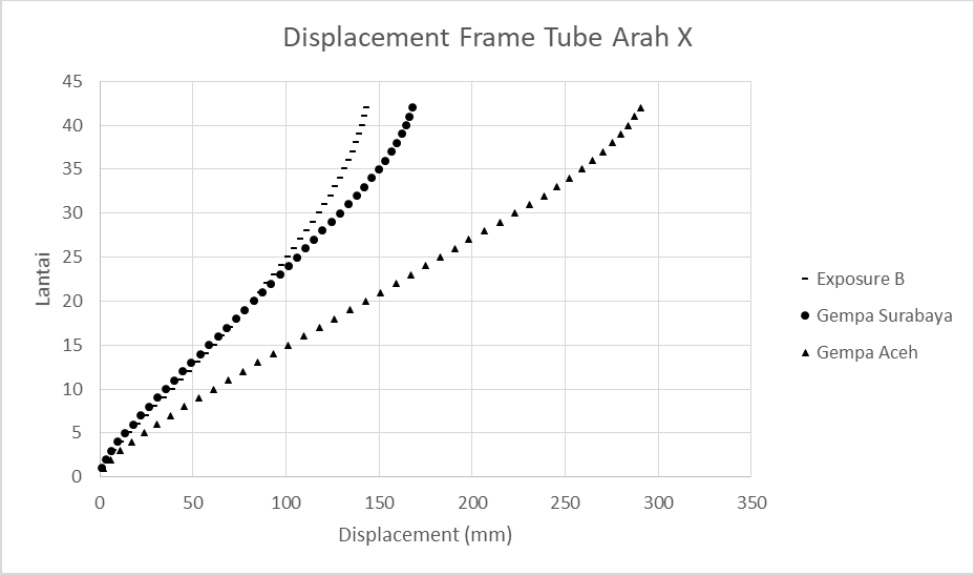
beda, yaitu exposure B, exposure C, dan exposure D dengan menggunakan kecepatan angin maksimum yang pernah terjadi yaitu 120 mph akan dibandingkan dengan beban gempa daerah Surabaya dan daerah Aceh dengan menggunakan objek gedung dengan sistem *frame tube* dan dual sistem gedung Grand Dharmahusada Lagoon. Hasil studi dapat dilihat pada **Gambar 4.21** sampai dengan **Gambar 4.29**



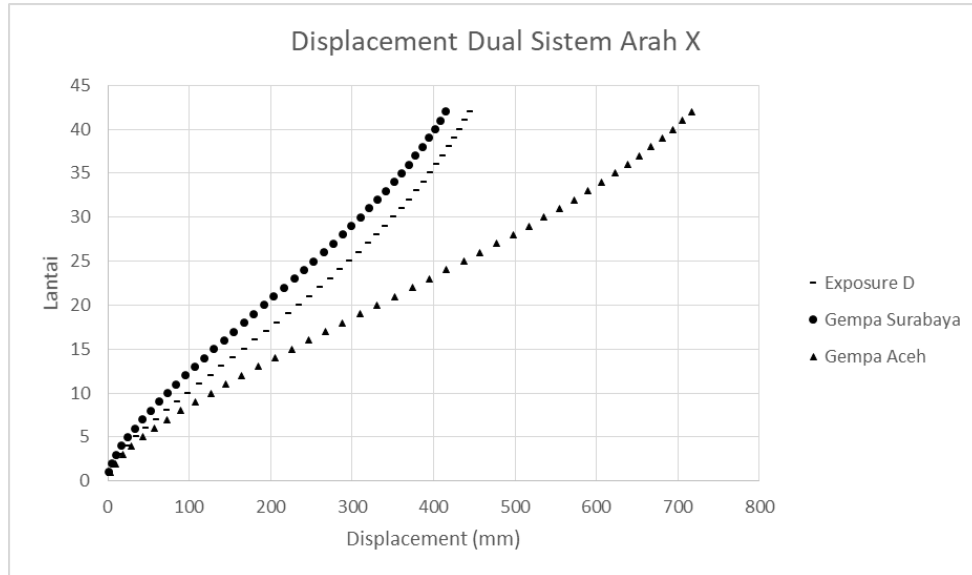
Gambar 4. 21 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh



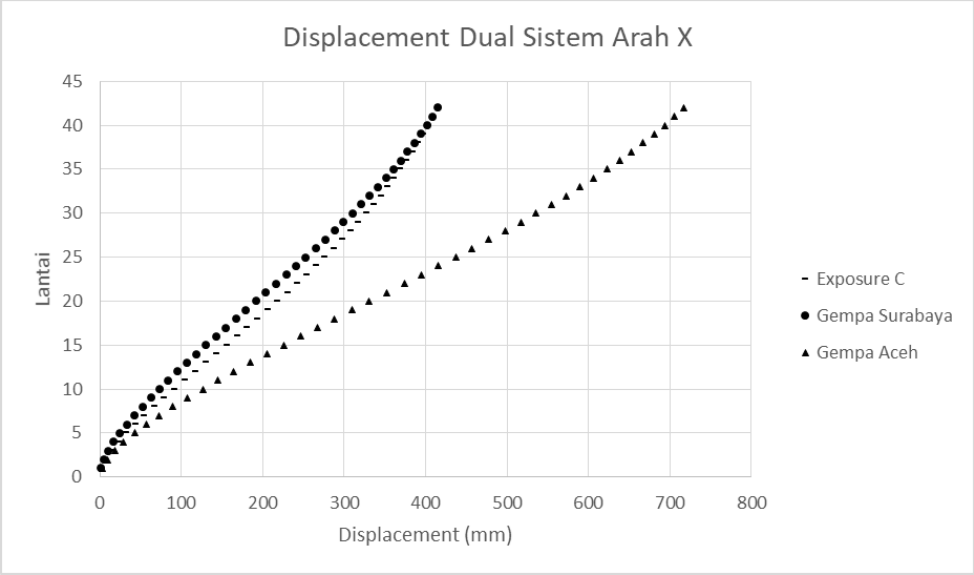
Gambar 4. 22 Perbandingan Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh



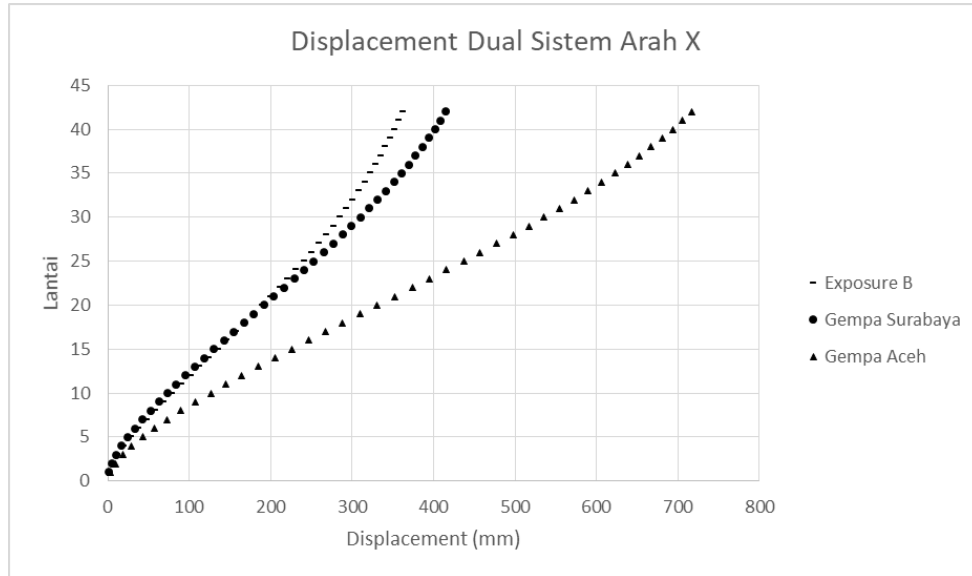
Gambar 4. 23 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh



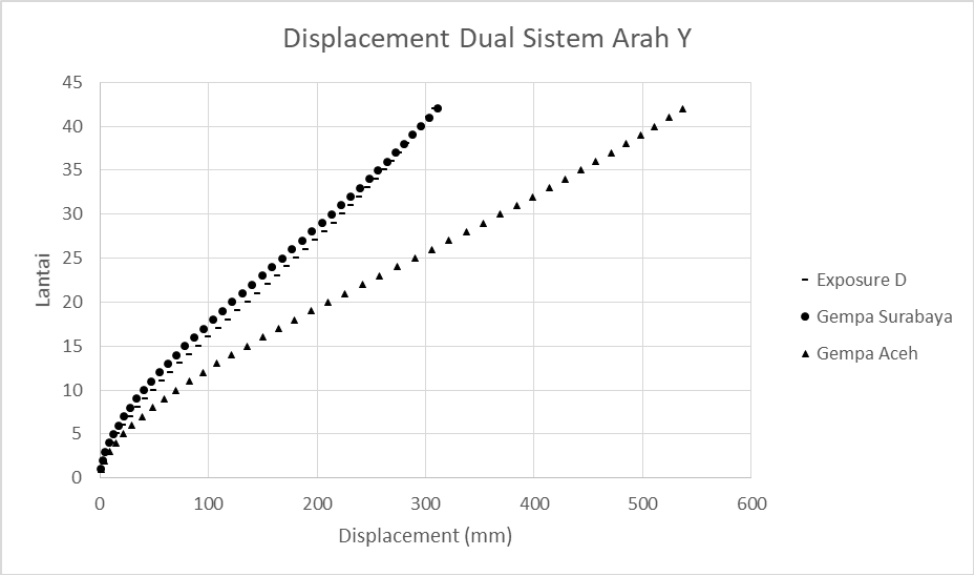
Gambar 4. 24 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh



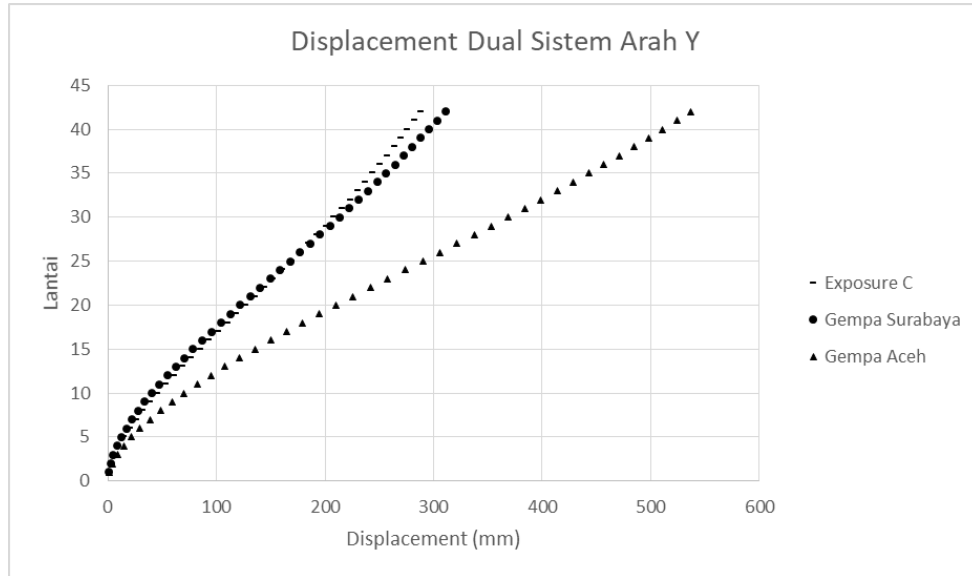
Gambar 4. 25 Perbandingan Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh



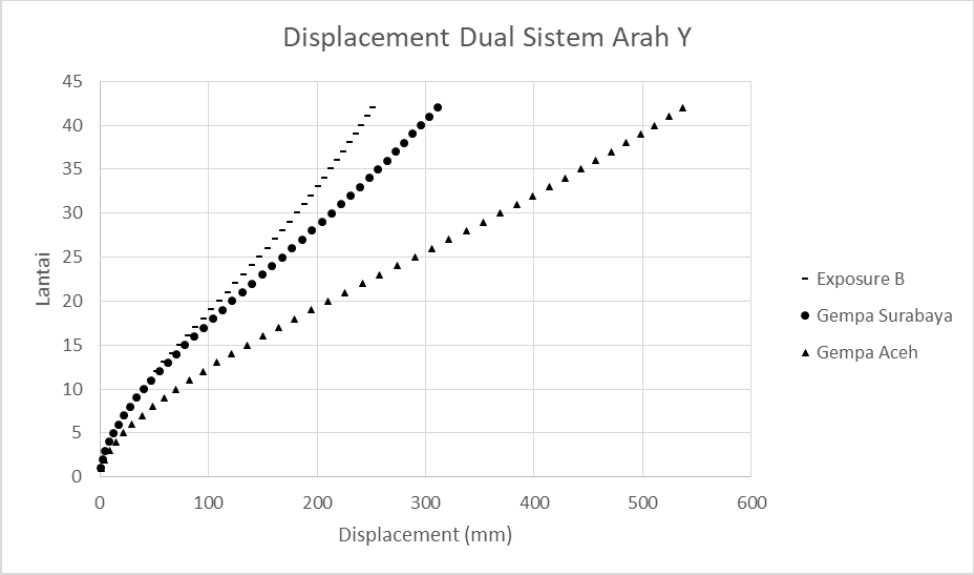
Gambar 4. 26 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh



Gambar 4. 27 Perbandingan Exposure D & Gempa Surabaya dan Aceh



Gambar 4. 28 Exposure C & Gempa Surabaya dan Aceh



Gambar 4. 29 Perbandingan Exposure B & Gempa Surabaya dan Aceh

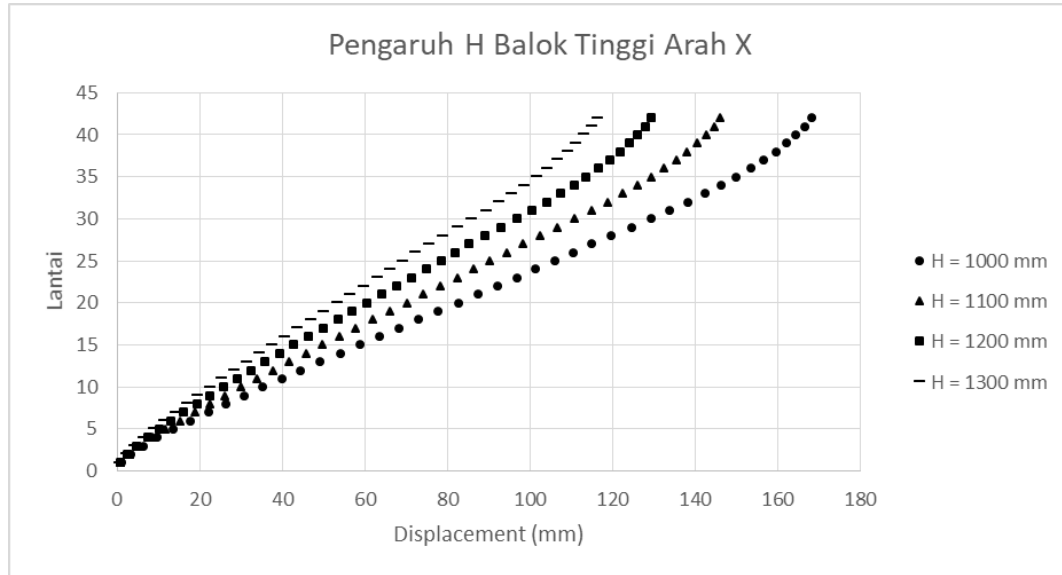
Berdasarkan *displacement* yang diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Untuk sistem *frame tube*, angin exposure D masih memiliki dampak *displacement* yang lebih kecil daripada *displacement* yang disebabkan oleh beban gempa Surabaya dan jauh lebih kecil daripada *displacement* yang disebabkan oleh beban gempa daerah Aceh. Sedangkan berturut-turut untuk beban angin exposure C, dan exposure D memiliki *displacement* yang semakin mengecil dibandingkan dengan dua beban gempa, yaitu gempa Surabaya dan beban gempa Aceh
2. Untuk dual sistem, beban angin exposure D memiliki *displacement* yang lebih besar daripada beban gempa Surabaya, namun masih lebih kecil daripada *displacement* gempa Aceh. Untuk beban angin exposure C memiliki *displacement* yang masih lebih besar daripada beban gempa Surabaya, sedangkan untuk beban angin dengan exposure B memiliki *displacement* yang lebih kecil daripada beban gempa Surabaya.

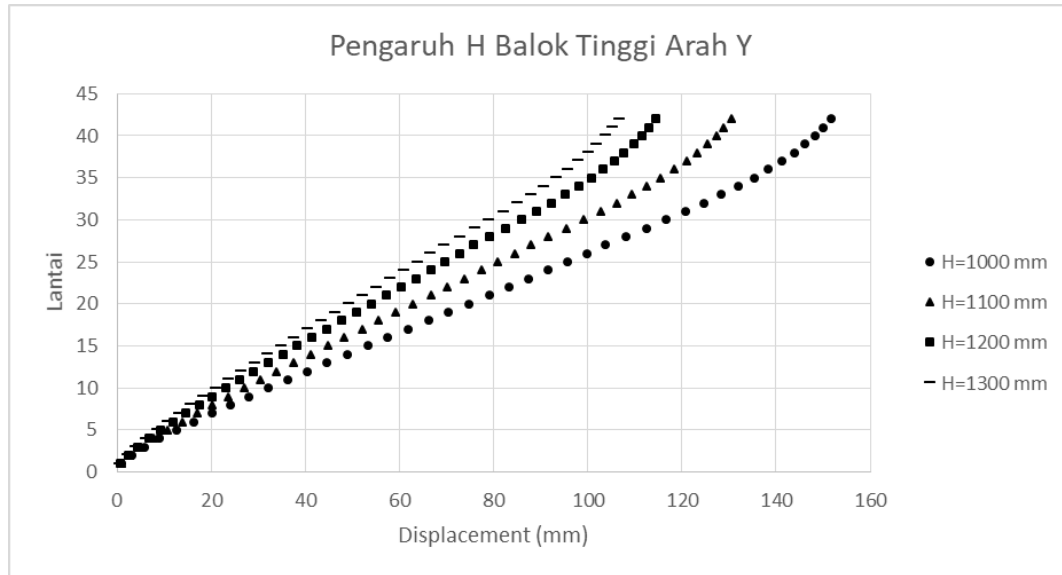
Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh, untuk sistem *frame tube*, beban angin yang paling besar dengan exposure D masih lebih kecil daripada beban-beban gempa namun dengan nilai *displacement* yang hampir mendekati *displacement* beban gempa Surabaya, sedangkan untuk dual sistem, untuk beban angin exposure D dan C memiliki *displacement* yang lebih besar daripada beban gempa Surabaya dan baru memiliki nilai *displacement* yang lebih rendah saat dibebani angin exposure B. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *frame tube* memiliki struktur yang lebih kaku daripada dual sistem. Beban angin dengan kecepatan angin tertinggi yaitu 120 mph menjadi penyebab besarnya angka *displacement* pada dual sistem dibandingkan dengan beban gempa Surabaya dan dapat disimpulkan bahwa beban angin dengan kecepatan 120 mph pada exposure D lebih dominan daripada beban gempa dengan memiliki rata-rata *displacement* 9% lebih besar daripada beban gempa respons spectrum Surabaya, namun untuk exposure C dan B, rata-rata beban angin lebih kecil daripada beban gempa

4.13 Pengaruh H Balok Tinggi Terhadap Perilaku Struktur Frame Tube

Balok tinggi yang digunakan sistem *frame tube* adalah elemen utama dalam menahan gaya lateral bersama dengan kolom-kolom dengan jarak relatif rapat dimana syarat dimensi dari balok tinggi berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.7 mensyaratkan bahwa balok tinggi memiliki rasio bentang dengan tinggi balok kurang dari sama dengan 4. Oleh sebab itu, akan dicoba 4 variabel tinggi balok, yaitu 1 m, 1,1 m, 1,2 m, 1,3 m yang akan dilihat dampak yang diakibatkan perubahan tinggi balok tinggi terhadap *displacement* sebagaimana yang dapat dilihat pada **Gambar 4.30** dan **Gambar 4.31**



Gambar 4. 30 Grafik Pengaruh H Balok Tinggi
Arah X



Gambar 4. 31 Grafik Pengaruh H Balok Tinggi
Arah Y

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 4.30** dan **Gambar 4.31** didapatkan hasil untuk arah X dan arah Y, keduanya memiliki hasil yang sama, yaitu, gedung yang menggunakan balok dengan $H = 1300$ memiliki *displacement* yang paling kecil diantara variable H lainnya. Hasil yang didapat berbanding lurus dengan variable H , yaitu semakin besar H yang digunakan akan menghasilkan *displacement* yang lebih kecil terhadap bangunan dan rata-rata peningkatan nilai *displacement* setiap H bertambah 100 cm adalah 18% dari nilai *displacement* pada dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan balok tinggi dengan H yang semakin besar, maka semakin kecil pula *displacement* yang diakibatkan terhadap bangunan yang artinya dapat memperkuat struktur bangunan. Hal ini dikarenakan inersia balok yang mana balok memiliki h lebih besar, maka akan menghasilkan inersia yang lebih besar sebagaimana dengan persamaan inersia balok, $I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$ sehingga dengan bertambahnya nilai H akan memperbesar nilai inersia balok sehingga dapat memperkuat struktur terhadap beban lateral

Berikut detail nilai simpangan ditunjukkan pada **Tabel 4.41** dan **Tabel 4.42**

Tabel 4. 41 Tabel *Displacement* Arah X

Lantai	Displacement (mm)			
	1000	1100	1200	1300
42	168.2	146.1	129.4	116.4
41	166.5	144.5	127.8	114.9
40	164.4	142.6	126	113.1
39	162.1	140.4	123.9	111.2
38	159.5	138	121.7	109.1
37	156.6	135.3	119.2	106.7
36	153.4	132.4	116.5	104.2

35	149.9	129.3	113.6	101.6
34	146.2	126	110.6	98.7
33	142.3	122.4	107.3	95.7
32	138.1	118.7	104	92.6
31	133.8	114.8	100.4	89.4
30	129.2	110.8	96.8	86
29	124.5	106.6	93	82.5
28	119.7	102.3	89.2	79
27	114.9	98.1	85.3	75.5
26	110.5	94.2	81.9	72.4
25	106	90.3	78.4	69.3
24	101.4	86.4	75	66.2
23	96.8	82.4	71.4	63
22	92.1	78.3	67.8	59.8
21	87.3	74.2	64.2	56.5
20	82.6	70.1	60.6	53.3
19	77.8	66	57	50.1
18	73	61.9	53.4	46.9
17	68.3	57.8	49.9	43.8
16	63.5	53.8	46.4	40.6
15	58.7	49.7	42.8	37.5
14	54	45.7	39.3	34.4
13	49.2	41.6	35.8	31.4
12	44.5	37.6	32.4	28.3
11	39.9	33.7	29	25.3
10	35.3	29.9	25.7	22.5
9	30.8	26.1	22.5	19.6
8	26.4	22.4	19.3	16.9
7	22.1	18.8	16.2	14.2
6	17.8	15.2	13.1	11.5

5	13.7	11.7	10.2	9
4	9.8	8.5	7.4	6.5
3	6.3	5.5	4.8	4.3
2	3.3	2.9	2.6	2.3
1	1	0.9	0.8	0.8

Tabel 4. 42 *Displacement Arah Y*

Lantai	Displacement (mm)			
	1000	1100	1200	1300
42	151.7	130.4	114.4	106.7
41	150.1	128.9	113	105.3
40	148.3	127.3	111.5	103.8
39	146.2	125.4	109.7	102
38	143.9	123.2	107.7	100.1
37	141.3	120.9	105.6	98
36	138.4	118.3	103.2	95.7
35	135.3	115.5	100.7	93.3
34	132	112.6	98	90.7
33	128.4	109.4	95.2	88
32	124.7	106.1	92.2	85.2
31	120.8	102.7	89.1	82.2
30	116.7	99.1	85.9	79.1
29	112.4	95.4	82.6	76
28	108.1	91.6	79.2	72.8
27	103.8	87.8	75.8	69.6
26	99.8	84.4	72.8	66.7
25	95.7	80.9	69.7	63.9
24	91.6	77.4	66.7	61
23	87.5	73.8	63.5	58.1

22	83.3	70.2	60.4	55.2
21	79	66.6	57.2	52.3
20	74.7	62.9	54	49.3
19	70.3	59.2	50.8	46.3
18	66.1	55.6	47.7	43.4
17	61.8	52	44.5	40.6
16	57.5	48.3	41.4	37.7
15	53.2	44.7	38.3	34.8
14	48.9	41.1	35.2	32
13	44.6	37.5	32.1	29.2
12	40.4	33.9	29	26.4
11	36.2	30.4	26	23.6
10	32.1	27	23.1	21
9	28.1	23.6	20.2	18.4
8	24.1	20.3	17.4	15.8
7	20.1	17	14.6	13.3
6	16.3	13.8	11.9	10.8
5	12.6	10.7	9.3	8.5
4	9	7.8	6.7	6.2
3	5.8	5	4.4	4.1
2	3.1	2.7	2.4	2.2
1	1	0.9	0.8	0.7

4.14 Perbandingan Volume Beton dan Kebutuhan Tulangan

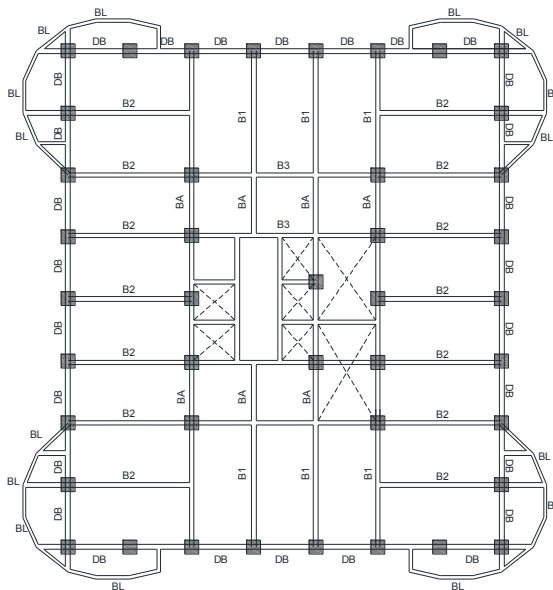
Frame tube dan dual sistem memiliki perbedaan dari segi penggunaan elemen struktur yang diterapkan pada bangunan sebagai sebuah sistem penahan beban lateral. *Frame tube* menggunakan elemen balok tinggi dan kolom-kolom yang relatif rapat sehingga dapat menahan beban lateral, sedangkan dual sistem menggunakan elemen dinding geser yang memikul

minimum 75% beban geser nominal dan sistem rangka (kolom & balok) minimum memikul 25% beban geser nominal gempa.

Dari penggunaan elemen struktur *frame tube* dan dual sistem memiliki perbedaan, sehingga perlu dilakukan perbandingan volume beton dan volume tulangan. Dalam studi ini, dilakukan hanya meninjau volume beton dan kebutuhan tulangan pada lantai 1 dimana elemen-elemen struktur di lantai 1 merupakan yang terbesar dari keseluruhan lantai

4.14.1 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan *Frame Tube Respons Spektrum Surabaya*

Berikut hasil perhitungan volume beton sistem struktur *frame tube* berdasarkan gambar yang dapat dilihat pada **Tabel 4.43**. Dan hasil perhitungan kebutuhan tulangan untuk dapat dilihat pada **Tabel 4.44**.



Gambar 4. 32 Denah Lantai 1 Frame Tube

Tabel 4. 43 Tabel Volume Beton *Frame Tube*

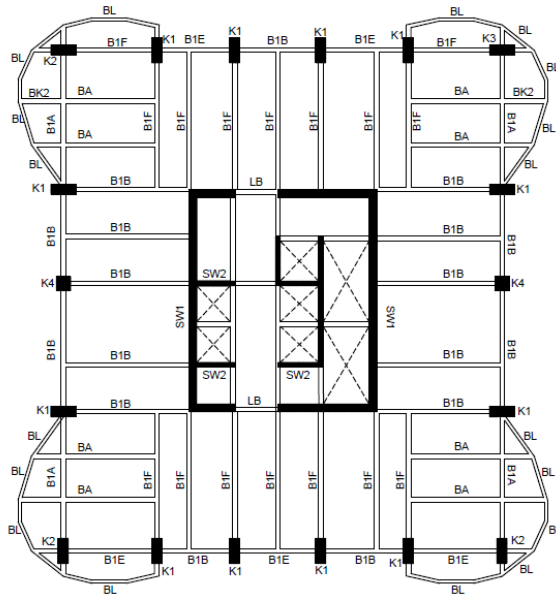
Elemen	Volume (m ³)
Balok	157,14
Kolom	292,24
Total	449,38

Tabel 4. 44 Tabel Volume Tulangan *Frame Tube*

Elemen	As (mm ²)
B1	96469.95
B2	44670.79
B3	75757.84
BA	6343.94
BK	20692.49
BL	11400.52
DB	400787.3
Kolom	2766266
Total	3422389

4.14.2 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan Dual Sistem Respons Spektrum Surabaya

Berikut hasil perhitungan volume beton sistem struktur dual sistem berdasarkan gambar yang dapat dilihat pada Tabel. Dan hasil perhitungan kebutuhan tulangan untuk dapat dilihat pada **Tabel 4.45** dan **Tabel 4.46**



Gambar 4. 33 Denah Lantai 1 Dual Sistem

Tabel 4. 45 Volume Beton Dual Sistem

Elemen	Volume (m ³)
Balok	127.6580333
Kolom	106.464
Shear Wall	89.5
Total	323,63

Tabel 4. 46 Volume Tulangan Dual Sistem

Elemen	As (mm ²)
B1A	53023.55
B1B	149824.5
B1E	24109.18

B1F	179672.2
BA	87373.05
BK	10788.77
BK2	13427.77
BL	18019.02
LB	97186
SW1	15000
SW2	6000
Kolom	1214613
Total	1869037

4.14.3 Rekapitulasi Perhitungan Volume Untuk Respons Spektrum Surabaya

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan volume beton dan kebutuhan tulangan sistem struktur *frame tube* dan dual sistem yang dapat dilihat pada **Tabel 4.47**

Tabel 4. 47 Rekapitulasi Volume Beton & Kebutuhan Tulangan

Sistem Struktur	Volume Beton (m ³)	Tulangan (mm ²)
Frame Tube	449,38	3422388,85
Dual Sistem	323,63	1869037,01

Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan volume beton dan kebutuhan tulangan untuk respons spectrum Surabaya pada lantai 1 masing- masing denah sistem struktur menghasilkan bahwa sistem struktur *frame tube* membutuhkan volume beton dan tulangan yang lebih besar daripada dual sistem. Untuk volume beton *frame tube* membutuhkan 1,38 kali lebih besar, sedangkan untuk tulangan, *frame tube* membutuhkan 1,83 kali lebih besar daripada dual sistem

4.14.4 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan *Frame Tube Respons Spektrum Aceh*

Berikut hasil perhitungan volume beton sistem struktur *frame tube* berdasarkan gambar yang dapat dilihat pada **Tabel 4.48**. Dan hasil perhitungan kebutuhan tulangan untuk dapat dilihat pada **Tabel 4.49**.

Tabel 4. 48 Volume Beton *Frame Tube*

Elemen	Volume (m ³)
Balok	157,14
Kolom	292,24
Total	449,38

Tabel 4. 49 Volume Tulangan *Frame Tube*

Elemen	As (mm ²)
B1	484620.2
B2	347436.8
B3	121103
BA	19249
BK	17840
BL	33531
DB	554905.7
Kolom	3084332
Total	4663018

4.14.5 Perhitungan Volume Beton dan Tulangan Dual Sistem Respons Spektrum Aceh

Berikut hasil perhitungan volume beton sistem struktur dual sistem berdasarkan gambar yang dapat dilihat pada Tabel. Dan hasil perhitungan kebutuhan tulangan untuk dapat dilihat pada **Tabel 4.50** dan **Tabel 4.51**

Tabel 4. 50 Volume Beton Dual Sistem

Elemen	Volume (m ³)
Balok	127.6580333
Kolom	106.464
Shear Wall	89.5
Total	323,63

Tabel 4. 51 Volume Tulangan Dual Sistem

Elemen	As (mm ²)
B1A	270250.7
B1B	373991.8
B1E	82811.56
B1F	319827
BA	130254.6
BK	83392.26
BK2	97710
BL	112441.6
LB	80680.2
SW1	15000
SW2	6000
Kolom	1768574
Total	3340934

4.14.6 Rekapitulasi Perhitungan Volume Untuk Respons Spektrum Aceh

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan volume beton dan kebutuhan tulangan sistem struktur *frame tube* dan dual sistem yang dapat dilihat pada **Tabel 4.52**

Tabel 4. 52 Rekapitulasi Volume Beton & Kebutuhan Tulangan

Sistem Struktur	Volume Beton (m ³)	Tulangan (mm ²)
Frame Tube	449,38	4663018
Dual Sistem	323,63	3340934

Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan volume beton dan kebutuhan tulangan untuk respons spectrum Aceh pada lantai 1 masing- masing denah sistem struktur menghasilkan bahwa sistem struktur *frame tube* membutuhkan volume beton dan tulangan yang lebih besar daripada dual sistem. Untuk volume beton *frame tube* membutuhkan 1,38 kali lebih besar, sedangkan untuk tulangan, *frame tube* membutuhkan 1,395 kali lebih besar daripada dual sistem

4.15 Pengaruh *Shear Lag* Pada Gedung Bertingkat Tinggi Dengan Sistem Struktur Frame Tube

Shear Lag menjadi masalah yang akan dihadapi apabila menggunakan sistem struktur *frame tube*. *Shear Lag* merupakan fenomena tidak meratanya distribusi beban lateral pada kolom lantai dasar yang terjadi pada bagian *web* dan *flange*. Dalam studi ini akan dilakukan permodelan struktur dengan 2 macam model

4.15.1 Objek Permodelan Struktur

Permodelan Struktur akan menggunakan gedung bertingkat tinggi dengan sistem struktur frame tube dengan 40 lantai dengan tinggi 3,5 m per lantai nya dan dengan dimensi elemen struktur sebagai berikut :

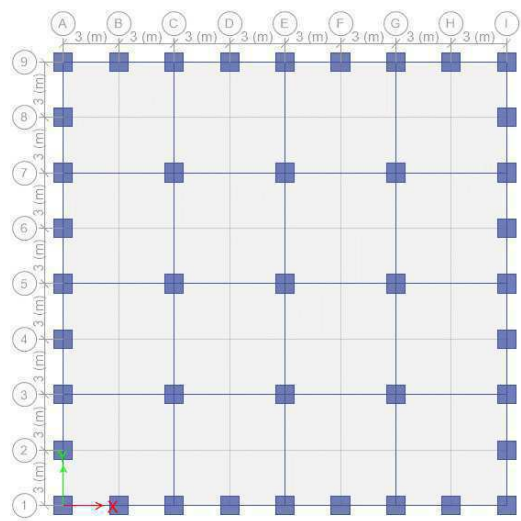
Tabel 4. 53 Elemen Struktur Frame Tube

Elemen	Dimensi (mm)	Fc'(MPa)
Kolom	1000 x 1000	35
Balok	600 x 400	35
Balok Tinggi	1000 x 700	35
Slab	1500	35

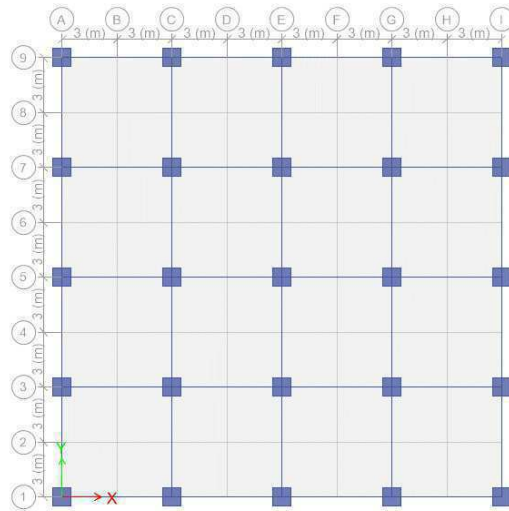
Tabel 4. 54 Tabel Parameter Model

Parameter	Model 1	Model 2
Cross Section	24 x 24 m ²	24 x 24 m ²
Spasi Kolom	3 m	6 m

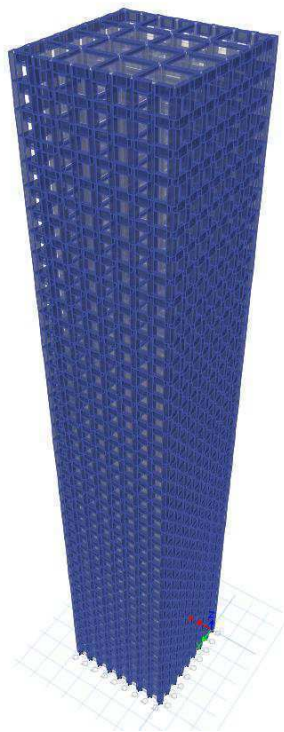
Kedua model akan diberi beban lateral dan beban gravitasi. Beban gravitasi akan diestimasi sebesar 1,35 kN/m² untuk beban mati, dan 2,5 kN/m² untuk beban hidup. Dengan beban gempa diambil dengan respons spectrum daerah Surabaya dengan tipe tanah SE. Model 1 dan Model 2 dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 4. 34 Model 1



Gambar 4.35 Model 2



Gambar 4. 36 Gambar Tampilan 3D

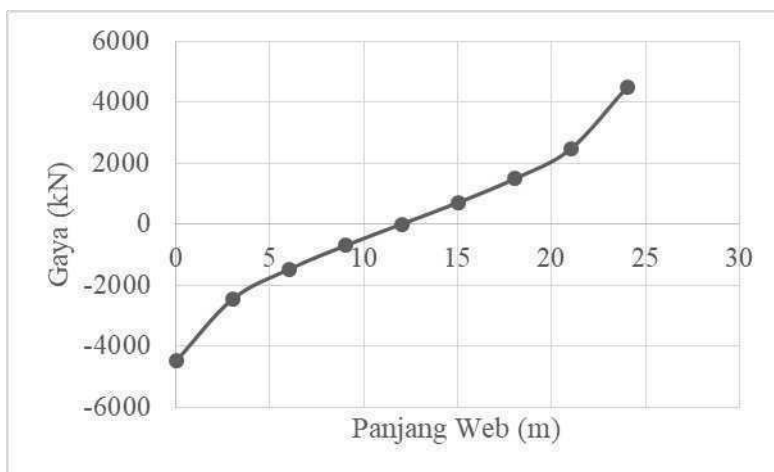
4.15.2 Hasil dan Analisa

Berikut hasil analisa *shear lag* yang dapat dilihat pada gaya aksial yang didapatkan pada kolom-kolom *frame tube* yang didapatkan dengan *software* ETABS pada kedua model gedung

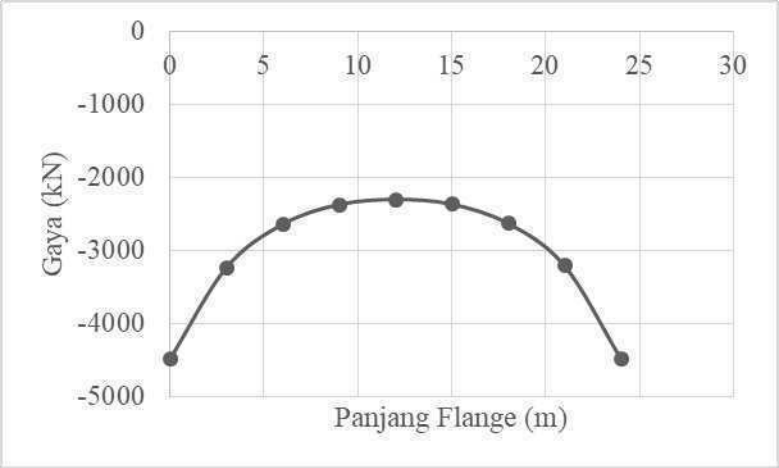
Tabel 55 Tabel *Shear Lag* Pada Model 1

Panjang Web/Flange (m)	Web (kN)	Flange (kN)
0	-4488.25	-4488.2837
3	-2463.6	-3236.6951

6	-1482.27	-2643.7663
9	-703.459	-2374.4181
12	0	-2304.2127
15	703.4588	-2370.7545
18	1482.268	-2634.6241
21	2463.595	-3214.0822
24	4488.247	-4488.2474



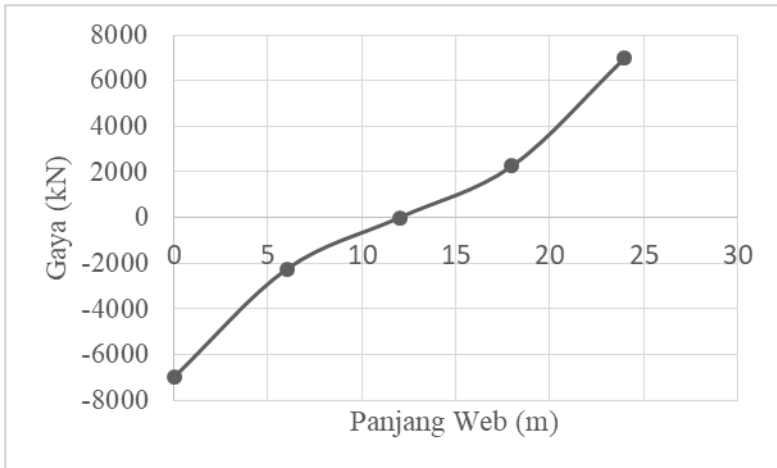
Gambar 4. 37 Gambar Grafik Shear Lag di bagian Web



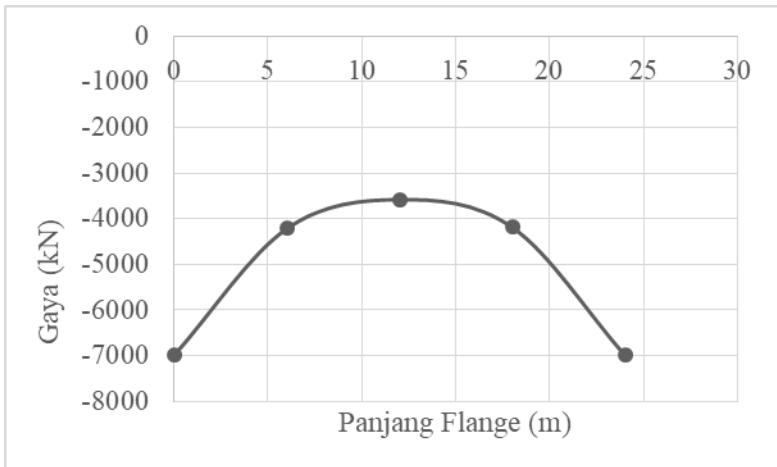
Gambar 4. 38 Gambar Grafik Shear Lag di bagian Flange

Tabel 4. Shear Lag Pada Model 2

Panjang Web/Flange (m)	Web (kN)	Flange (kN)
0	-6994.3679	-6994.5237
6	-2257.4304	-4219.5552
12	0	-3582.4527
18	2257.4304	-4189.2643
24	6994.3679	-6994.3679



Gambar 4. 39 Grafik Shear Lag di bagian Web



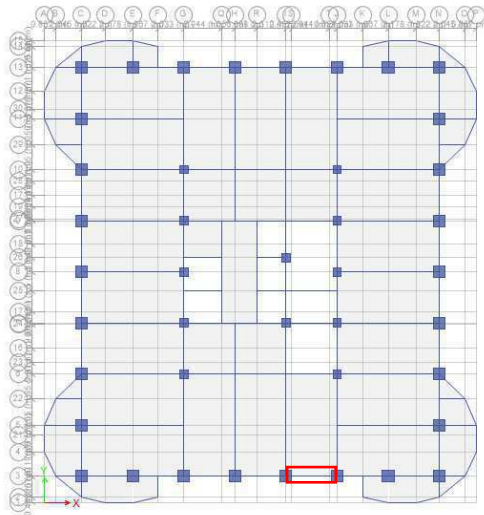
Gambar 4. 40 Gambar Grafik Shear Lag di bagian Flange

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan luas denah bangunan yang sama, namun dengan formasi jarak dan jumlah kolom yang berbeda pada sistem struktur *frame tube* memiliki hasil yang berbeda, yaitu semakin rapat jarak antar kolom, maka semakin kecil juga pengaruh dari adanya *shear lag*. Pengaruh jarak antar kolom terhadap shear lag menghasilkan kesimpulan bahwa dengan jarak antar kolom sebesar 3m memiliki efek shear lag yang lebih kecil sebesar 32% daripada gedung dengan jarak antar kolom 6 m

BAB V DESAIN ELEMEN

5.1 Desain Elemen Balok Tinggi

Balok tinggi menjadi salah satu elemen penting yang digunakan pada sistem struktur *frame tube* karena bersamaan dengan kolom yang berada di perimeter bangunan, balok tinggi menjadi sebuah sistem penahan lateral yang dapat digunakan untuk bangunan tinggi. Berikut adalah contoh perhitungan balok tinggi yang berada di lantai 1 dengan denah pada gambar



Gambar 5. 1 Denah Balok Tinggi yang Ditinjau

Tabel 5. 1 Properti Balok Tinggi

Properti Balok Tinggi		
H	1000	mm
Bw	700	mm

fc	30	MPa
fy	420	MPa
Selimum	40	mm
Bentang Bersih (l_n)	2500	mm
Bentang As ke As (l)	4000	mm

Beban yang digunakan dalam desain adalah berdasarkan analisis ETABS dengan hasil V_u dan M_u sebagai berikut :

$$V_u = 345,3 \text{ kN}$$

$$M_u = 591,15 \text{ kN.m}$$

1. Penulangan Lentur Balok Tinggi

$$M_u = 591,15 \text{ kN.m}$$

$$\text{Rasio } \frac{l}{h} = \frac{4000}{1000} = 4$$

$$Jd = 0,2 (l + 1,5h)$$

$$Jd = 0,2 \times (4 + 1,5(1)) = 1,1 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y j d}$$

$$A_s = \frac{591,15 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times 1,1 \times 10^3} = 2421,71 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gunakan } 8D22 = 3039,52 \text{ mm}^2$$

Pasang 8 buah di tiap muka penampang

Dipasang sepanjang :

$$0,25h - 0,05l = 0,25 \times 1 - 0,05 \times 4 = 0,05 \text{ m dari bawah}$$

$$\text{Spasi tulangan } \frac{50}{1} = 50 \text{ mm}$$

Cek persyaratan minimum tulangan

$$d = h - 0,5(0,25h - 0,05l) - \text{cover}$$

$$d = 1 - 0,5(0,05) - 0,05 = 0,925 \text{ m}$$

$$\text{a. } \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b_w d =$$

$$\frac{0,25 \sqrt{30}}{420} \times 700 \times 925 = 2111 < 2463 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

$$\text{b. } \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$\frac{1,4}{420} \times 700 \times 925 = 2158,3 < 2463 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

2. Penulangan Geser

$$V_u = 345,3 \text{ kN}$$

- Cek Kapasitas Geser Penampang

$$\phi V_n = \phi 0,83 \sqrt{f'c'} b_w d$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 0,83 \sqrt{30} \times 700 \times 925 = 2207,7 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u \dots \text{OK}$$

$$3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u \times d} = 3,5 - 2,5 \frac{591,15}{345,3 \times 0,925} = 1,13$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2463}{700 \times 925} = 0,003$$

$$V_c = \left(3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left(0,16 \lambda \sqrt{f'c'} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$$

$$= 1,13 (0,16 \times 1 \times \sqrt{30} + 17 \times 0,003 \times 0,54) 700 \times 925$$

$$= 2080,3 \text{ kN}$$

- Cek Kapasitas Geser Beton Pada Penampang

$$0,5 \lambda \sqrt{f'c'} b_w d$$

$$0,5 \times 1 \times \sqrt{30} \times 700 \times 975 = 1869,1 \text{ kN}$$

$$0,5 \lambda \sqrt{f'c'} b_w d < V_c$$

$$\text{Gunakan } V_c = 1869,1 \text{ kN}$$

Dicoba pasang $\phi 10$ untuk vertical dan horizontal

$$A_v = A_{vh} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$V_s = 3102,7 - 1869,1 = 1233,6 \text{ kN}$$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s_v} \left(\frac{1 + l_n/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_h} \left(\frac{11 - l_n/d}{12} \right) \right] f_y d$$

Asumsikan bahwa S_v dan $s_h = s$ yaitu dianggap memiliki jarak yang sama, sehingga

$$1233,6 \times 10^3 = \left[\frac{157}{s} \left(\frac{1 + 2,5/0,975}{12} \right) + \frac{157}{s} \left(\frac{11 - 2,5/0,975}{12} \right) \right] 420 \times 975$$

$S = 114,37 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$

Digunakan $\phi 10$ dengan luas = 157 mm^2

Cek minimum penulangan

- Tulangan Horizontal

$$A_v = A_{vh} = 0,0025 \times b_w \times S$$

$$A_v = A_{vh} = 0,0025 \times 700 \times 50 = 87,5 \text{ mm}^2 < 157 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

- Tulangan Vertikal

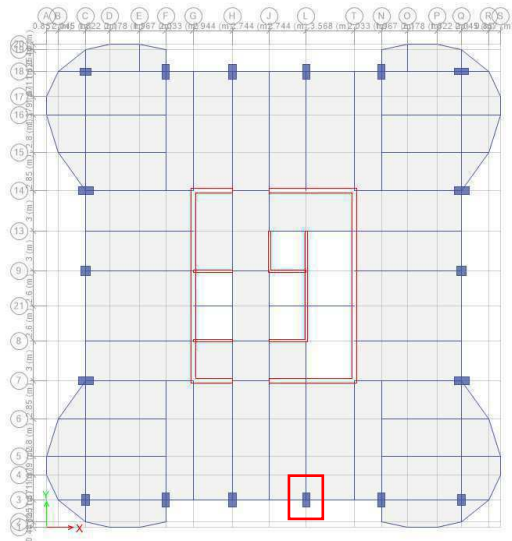
$$A_v = A_{vh} = 0,0015 \times b_w \times S$$

$$A_v = A_{vh} = 0,0015 \times 700 \times 50 = 52,5 \text{ mm}^2 < 157 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

5.2 Desain Kolom

5.2.1 Kolom Dual Sistem

Dalam pengerjaan desain elemen kolom pada dual sistem, pada tugas akhir ini akan didesain satu sampel elemen kolom yang berada pada lantai 1. Denah kolom yang didesain seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 5.2**



Gambar 5. 2Elemen Kolom Yang Ditinjau

Material properties dari kolom yang didesain adalah sebagai berikut :

Tabel 5. 2 Data Kolom

Lantai 1		
b	900	mm
H	2200	mm
Ag	1.980.000	mm ²
fc' kolom	40	MPa
Selimit	40	mm

Berikut ini langkah-langkah perhitungan desain dan perincian struktur kolom berdasarkan SNI 03-2847-2013

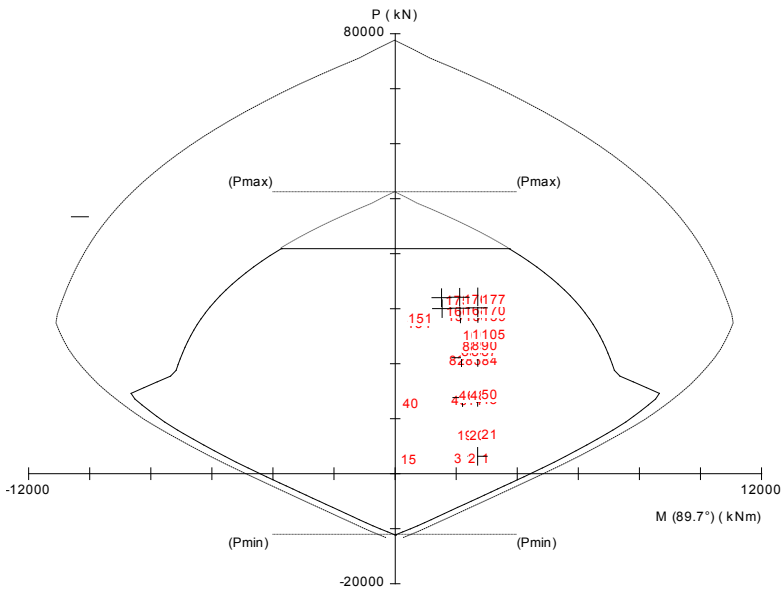
1. Cek Persyaratan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 23.4.1, persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom adalah sebagai berikut :

- a. Gaya aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi yang bekerja pada kolom harus melebihi $\frac{A_g f_c'}{10}$
- $$\frac{A_g f_c'}{10} = \frac{1,98 \times 10^6 \times 40}{10} = 7920 \text{ kN}$$
- Gaya aksial terfaktor terkecil P_u yang dialami oleh kolom adalah 14788,55 kN > 7920 kN...OK
- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm
 $d = 900 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$...OK
- c. Rasio dimensi penampang, b/d tidak kurang dari 0,4
 $\frac{b}{d} = \frac{2200}{900} = 2,4 > 0,4$...OK

2. Tentukan Tulangan Longitudinal Kolom

Luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g (SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1). Dengan menggunakan SpColumn maka didapatkan 36D32 untuk kolom berukuran 2200 mm x 900 mm dengan rasio penulangan 1,49 % seperti terlihat pada gambar



Gambar 5. 3 Diagram P-MM Kolom

Dengan

$$\phi M_n = 18975 \text{ kN.m}$$

3. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6, kapasitas aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur

$$\phi P_n = 0,8 \times \phi \times [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] > P_u$$

Dimana :

$$A_g = 2200 \times 900 = 1.980.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 28938.24 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,8 \times \phi \times [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 40' (19,8 \times 10^4 - 28938,24) + 420 \times 28938,24]$$

$$\phi P_n = 9309123 \text{ N} = 9309,123 \text{ kN}$$

$$P_u = 32167,55 \text{ kN}$$

$$\phi P_n > P_u \dots \text{OK}$$

4. Cek Syarat Strong Column Weak Beam

Kekuatan kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
(SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.2)

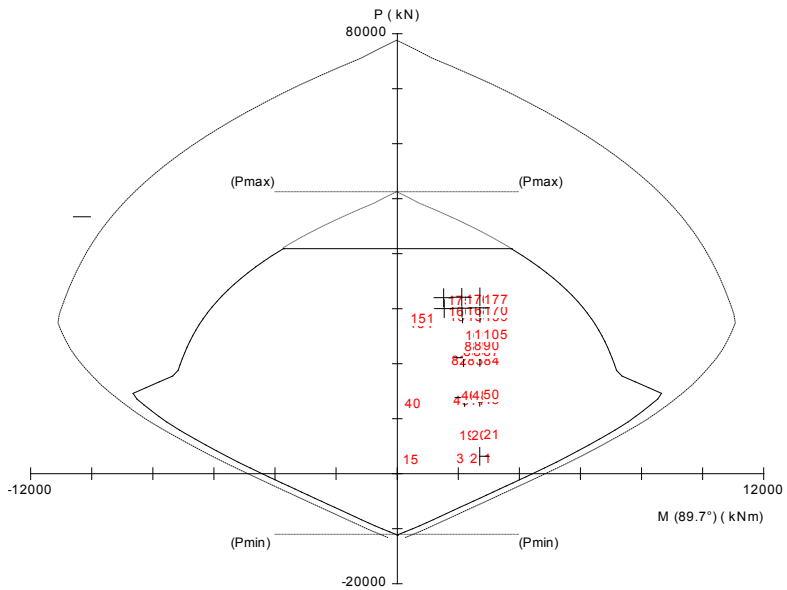
- Menentukan nilai $\sum M_{nb}$ (momen nominal balok-balok yang bertemu pada joint di satu kolom)

$$M_{nb1} + M_{nb2} = 478,58 + 478,58 = 957,16$$

$$1,2 \times \sum M_{nb} = 1148,6 \text{ kN.m}$$

- Menentukan nilai M_{nc}

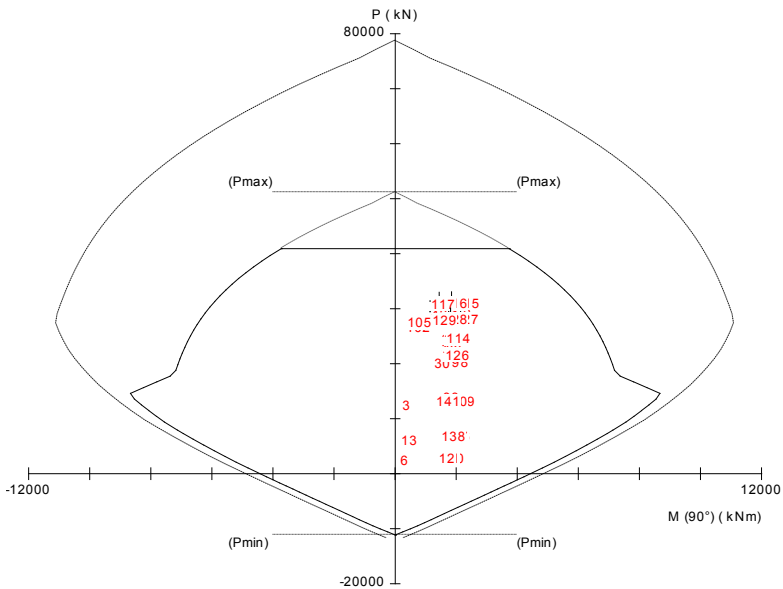
Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P-M pada SpColumn, yaitu dengan mencari momen nominal terkecil dari kolom atas dan kolom bawah



Gambar 5. 4 Gambar Diagram Interaksi P-M Kolom Bawah

Dimana :

$$M_n = 18975 \text{ kN.m}$$



Gambar 5. 5 Gambar Diagram Interaksi P-M Kolom Atas

Dimana :

$$M_n = 18887,15 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} = 18975 + 18887,15 = 37862,15 \text{ kN.m}$$

$$1,2 \times \sum M_{nb} = 2776,824 \text{ kN.m}$$

Maka, $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$ terpenuhi dan masuk persyaratan *strong column weak beam*

5.2.1.1 Desain Tulangan *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, total luas penampang *hoops* tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$A_{sh} = 0,3 \times \left(\frac{s_b c f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

dan

$$A_{sh} = \frac{0,09 s b_c f_c'}{f_y}$$

Dimana :

S = jarak antar *hoops*

b_c = lebar penampang inti beton yang terkekang, diukur sebagai jarak antarpusat tulangan *hoops* teluar

A_{sh} = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar *hoop* ke serat terluar *hoop* di sisi lainnya

Dicoba tulangan D16 untuk *hoops* , sehingga :

$$b_c = b_w - 2(\text{cover} + 0,5 d_b)$$

$$b_c = 900 - 2(40 + 0,5 \times 16) = 804 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (b_w - 2(\text{cover})) \times (b_w - 2(\text{cover}))$$

$$A_{ch} = (900 - 2(40)) \times (2200 - 2(40)) = 1738400 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left(\frac{b_c f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left(\frac{804 \times 40}{420} \right) \left(\frac{2200 \times 900}{1738400} - 1 \right) = 3,19 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 b_c f_c'}{f_y}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 \times 804 \times 40}{420} = 6,9 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 menyatakan spasi maksimum antar *hoops* sebagai yang terkecil diantara :

1. $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom terkecil
 $\frac{1}{4} \times 900 \text{ mm} = 225 \text{ mm}$

2. 6 x diameter tulangan longitudinal kolom
 $6 \times 32 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$

3. S_0 menurut persamaan

$$S_0 \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$h_x = \frac{2}{3} \times b_c$$

$$h_x = \frac{2}{3} \times 804 = 536 \text{ mm}$$

Karena nilai h_x yang besar dan menghasilkan S_0 dibawah 100 mm, maka diambil nilai $S_0 = 100 \text{ mm}$

Sebagai catatan bahwa SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 menyatakan bahwa h_x tidak boleh lebih besar dari 350 mm

4. 150 mm

Jarak *hoops* coba pasang 100 mm

Area tulangan minimum

$$A_{sh} = 3,19 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \times 100 \text{ mm} = 319 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 6,9 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \times 100 \text{ mm} = 690 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

Dicoba menggunakan 4 kaki baja D16 dengan luas area *hoops*

$$A_{sh} = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 804,25 \text{ mm}^2 \geq 690 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 menyatakan bahwa tulangan *hoop* tersebut diperlukan sepanjang l_0 dari ujung kolom, l_0 dipilih yang terbesar di antara :

- Tinggi elemen kolom, h , di joint = 2200 mm
- $1/6$ tinggi bersih kolom

$$\frac{1}{6} \times 2500 = 416,6 \text{ mm}$$
- 450 mm

Dengan demikian, diambil nilai $l_0 = 2200$ mm

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih diberi hoops dengan spasi minimum (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5)

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 $6 \times 32 = 192$ mm
- 150 mm

Maka s yang digunakan adalah 150 mm sepanjang sisa tinggi kolom

5.2.1.2 Desain Tulangan Geser Kolom

Desain tulangan geser kolom disyaratkan dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5. Gaya Geser desain, V_e harus ditentukan berdasarkan gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka-muka joint. Dalam hal ini penentuan V_e ditentukan berdasarkan nilai M_{pr} melalui V_{sway} yang telah dihitung sebelumnya dan hasil analisis struktur.

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} \times DF_{top} + M_{pr3} \times DF_{bottom}}{l_n}$$

Dimana :

DF = faktor distribusi momen berdasarkan kekakuan $\frac{I_n}{I_n + I_{n+1}}$

M_{pr1} dan M_{pr3} = penjumlahan M_{pr} balok

I_n = inersia penampang kolom yang ditinjau

I_{n+1} = inersia penampang diatas kolom yang ditinjau

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} \times DF_{top} + M_{pr3} \times DF_{bottom}}{l_n}$$

$$V_{sway} = \frac{(478,58 + 478,58) \times 0,5}{2,5} = 555,4 \text{ kN}$$

Namun V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur, V_u dari ETABS = 358,4 kN

Maka, digunakan $V_e = 555,4$ kN untuk desain geser

Gaya geser yang telah didapat kemudian digunakan untuk menentukan apakah kolom memerlukan tulangan geser tambahan dari tulangan *confinement* yang telah terpasang sebelumnya

sepanjang l_o . Berdasarkan pasal 21.6.5.2, V_c harus diasumsikan 0 apabila 2 dari persyaratan dibawah ini terpenuhi

1. Gaya geser akibat gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o

$$V_{sway} > 0,5 V_c \dots \text{NOT OK}$$

Maka, V_c dapat diperhitungkan dalam menahan geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{40}}{6} \times 900 \times 2128 = 2018,798 \text{ kN}$$

Jika gaya geser terfaktor melebihi 0,5 tahanan geser beton, maka diperlukan tulangan geser tambahan

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{555,4}{0,75} = 740,53$$

$$0,5 V_c = 0,5 \times 2018,798 = 1009,4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} < 0,5 V_c$$

Jadi tidak perlu tulangan geser tambahan

Untuk keperluan tulangan geser diluar panjang l_o , digunakan nilai V_c yang memasukkan pengaruh gaya aksial sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

N_u adalah gaya aksial tekan terkecil dari kombinasi pembebanan. Dari analisis ETABS, didapat $N_u = 3176,8 \text{ kN}$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{3176,8}{14 \times 19,8 \times 10^6} \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 900 \times 2128$$

$$V_c = 2059,197 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} < V_c ; \text{OK}$$

Maka, tidak dibutuhkan tambahan tulangan sengkang pada panjang diluar l_o

5.2.1.3 Desain Lap Splices

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.3, sambungan lewatan untuk tulangan longitudinal kolom harus diapsang pada tengah tinggi kolom dan harus diikat dengan *confinement* dengan spasi yang sama pada panjang l_o . Panjang sambungan lewatan, l_s , untuk tulangan longitudinal mengikuti SNI 2847:2013 Pasal 12.6.1

1. $L_s = 0,071 f_y d_b = 0,071 \times 420 \times 32 = 908,8 \text{ mm}$
2. $L_s = 300 \text{ mm}$

Namun, sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3.3, sambungan lewatan diizinkan hanya dalam setengah pusat panjang komponen struktur, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik

$$L_s = 1,3 l_d$$

Dimana :

$$l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{420 \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) d_b = 48,36 d_b$$

Sehingga

$$l_s = 1,3 \times 48,36 \times 32 = 2011,95 \text{ mm}$$

Nilai ini dapat direduksi dengan 0,75 asalkan tidak lebih kecil dari 300 mm

$$l_{s \text{ pakai}} = 0,75 \times 2011,95 = 1508,96, \text{ dipasang } 1510 \text{ mm}$$

5.2.1.4 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom adalah tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom. Hubungan balok kolom yang didesain dalam subbab ini adalah HBK dari kolom yang telah didesain sebelumnya

1. Pengecekan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2.3, apabila terdapat tulangan balok longitudinal menerus melalui joint, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan longitudinal balok terbesar

$$\text{Lebar kolom} = 20 \times d_{b \text{ max}}$$

$$\text{Lebar kolom} = 20 \times 32 = 640 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar actual kolom} = 900 \text{ mm}$$

2. Penentuan Dimensi Joint

Dimensi Joint ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4 untuk mendesain joint kuat terhadap geser. Dimensi joint terdiri atas tinggi dan lebar yang ditentukan berdasarkan tinggi dan lebar kolom. Nilai A joint dapat ditentukan sebagai berikut :

$$A_j = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

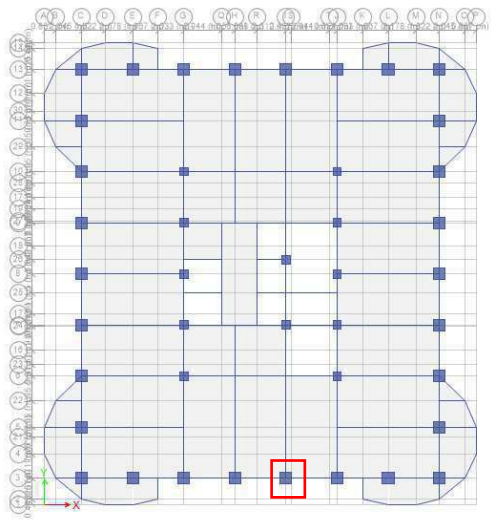
Dengan $D = 2200 \text{ mm}$

Sehingga

$$A_j = \frac{1}{4} \times \pi \times 2200^2 = 3799400 \text{ mm}^2$$

5.2.2 Kolom Frame Tube

Dalam pengerjaan desain elemen kolom, pada tugas akhir ini akan didesain satu sampel elemen kolom yang berada pada lantai 1. Denah kolom yang didesain seperti yang dapat dilihat pada gambar



Material properties dari kolom yang didesain adalah sebagai berikut :

Tabel 5. 3 Tabel Data Kolom

Lantai 1		
b	1000	mm
H	1000	mm

Ag	1.000.000	mm ²
fc' kolom	40	MPa
Selimit	40	mm

Berikut ini langkah-langkah perhitungan desain dan perincian struktur kolom berdasarkan SNI 03-2847-2013

5. Cek Persyaratan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 23.4.1, persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom adalah sebagai berikut :

- b. Gaya aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi yang

bekerja pada kolom harus melebihi $\frac{Ag f_c'}{10}$

$$\frac{Ag f_c'}{10} = \frac{10^6 \times 40}{10} = 4000 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor terkecil Pu yang dialami oleh kolom adalah 13708 kN > 4000 kN...OK

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm

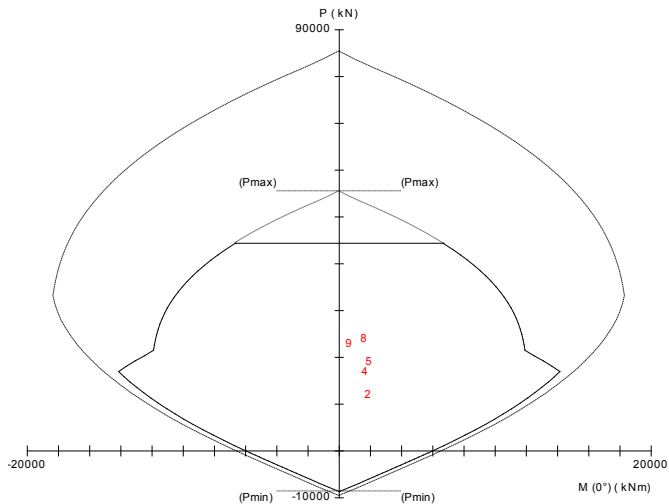
$$d = 1000 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

- c. Rasio dimensi penampang, b/d tidak kurang dari 0,4

$$\frac{b}{d} = \frac{1000}{1000} = 1 > 0,4 \dots \text{OK}$$

6. Tentukan Tulangan Longitudinal Kolom

Luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag (SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1). Dengan menggunakan SpColumn maka didapatkan 28D32 untuk kolom berukuran 1500 mm x 1500 mm dengan rasio penulangan 1,02 % seperti terlihat pada gambar



Gambar 5. 6 Diagram P-MM Kolom

Dengan

$$\phi M_n = 13723,37$$

7. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6, kapasitas aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur

$$\phi P_n = 0,8 \times \phi \times [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] > P_u$$

Dimana :

$$A_g = 1500 \times 1500 = 2.250.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 22507,52 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,8 \times \phi \times [0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$\phi P_n = 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 40' (225 \times 10^4 - 22507,52) + 420 \times 22507,52]$$

$$\phi P_n = 44297709 \text{ N} = 44297,709 \text{ kN}$$

$$P_u = 24608,72 \text{ kN}$$

$$\phi P_n > P_u \dots \text{OK}$$

8. Cek Syarat Strong Column Weak Beam

Kekuatan kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
(SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.2)

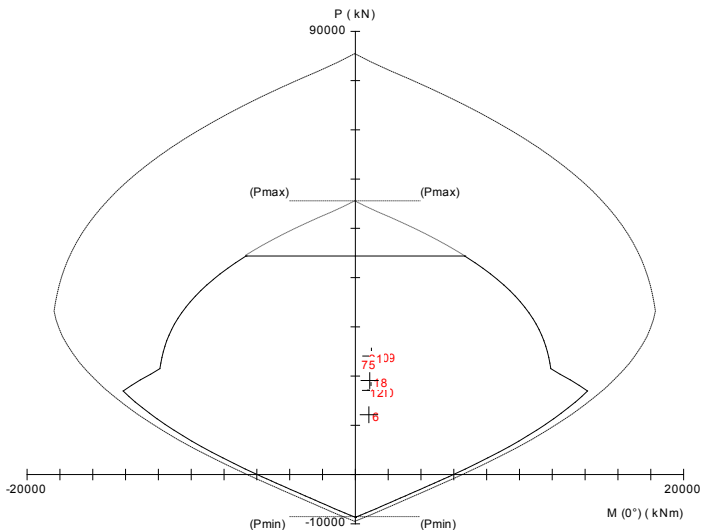
- Menentukan nilai $\sum M_{nb}$ (momen nominal balok-balok yang bertemu pada joint di satu kolom)

$$M_{nb1} + M_{nb2} = 1157,01 + 1157,01 = 2314,02$$

$$1,2 \times \sum M_{nb} = 2776,824 \text{ kN.m}$$

- Menentukan nilai M_{nc}

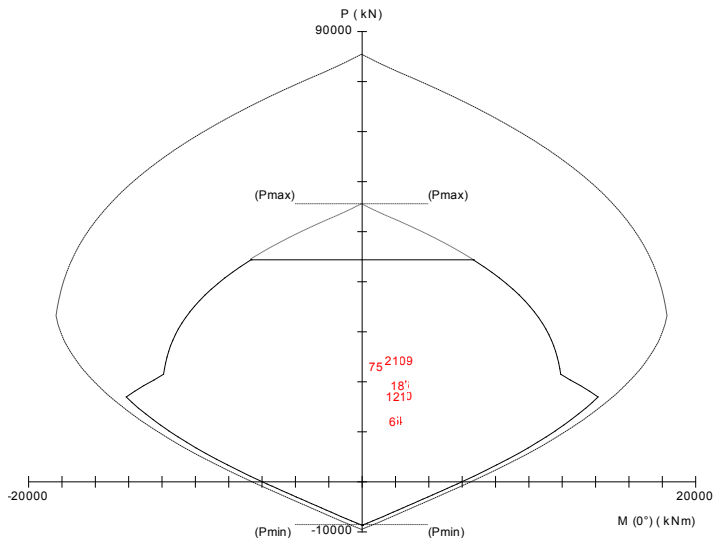
Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P-M pada SpColumn, yaitu dengan mencari momen nominal terkecil dari kolom atas dan kolom bawah



Gambar 5. 7 Diagram Interaksi P-M Kolom Bawah

Dimana :

$$M_n = 1769.81 \text{ kN.m}$$



Gambar 5. 8 Diagram Interaksi P-M Kolom Atas

Dimana :

$$M_n = 1790,37 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} = 1769.81 + 1790,37 = 3560,18 \text{ kN.m}$$

$$1,2 \times \sum M_{nb} = 2776,824 \text{ kN.m}$$

Maka, $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$ terpenuhi dan masuk persyaratan *strong column weak beam*

Desain Tulangan *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, total luas penampang *hoops* tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$A_{sh} = 0,3 \times \left(\frac{s b_c f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

dan

$$A_{sh} = \frac{0,09 s b_c f_c'}{f_y}$$

Dimana :

S = jarak antar *hoops*

b_c = lebar penampang inti beton yang terkekang, diukur sebagai jarak antarpusat tulangan *hoops* teluar

A_{sh} = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar *hoop* ke serat terluar *hoop* di sisi lainnya

Dicoba tulangan D16 untuk *hoops* , sehingga :

$$b_c = b_w - 2(cover + 0,5 d_b)$$

$$b_c = 1500 - 2(40 + 0,5 \times 16) = 1404 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = (b_w - 2(cover)) \times (b_w - 2(cover))$$

$$A_{sh} = (1500 - 2(40)) \times (1500 - 2(40)) = 20164000 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left(\frac{b_c f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left(\frac{1404 \times 40}{420} \right) \left(\frac{1500 \times 1500}{2016400} - 1 \right) = 4,88 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 b_c f_c'}{f_y}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 \times 1404 \times 40}{420} = 12,64 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 menyatakan spasi maksimum antar *hoops* sebagai yang terkecil diantara :

$$5. \quad \frac{1}{4} \text{ dimensi penampang kolom terkecil}$$

$$\frac{1}{4} \times 1500 \text{ mm} = 375 \text{ mm}$$

$$6. \quad 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal kolom}$$

$$6 \times 32 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$$

7. S_0 menurut persamaan

$$S_0 \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$h_x = \frac{2}{3} \times b_c$$

$$h_x = \frac{2}{3} \times 1404 = 936 \text{ mm}$$

Karena nilai h_x yang besar dan menghasilkan S_0 dibawah 100 mm, maka diambil nilai $S_0 = 100 \text{ mm}$

Sebagai catatan bahwa SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 menyatakan bahwa h_x tidak boleh lebih besar dari 350 mm

8. 150 mm

Jarak *hoops* coba pasang 100 mm

Area tulangan minimum

$$A_{sh} = 4,88 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \times 100 \text{ mm} = 488 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 12,64 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \times 100 \text{ mm} = 1264 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

Dicoba menggunakan 8 kaki baja D16 dengan luas area *hoops*

$$A_{sh} = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 1608,5 \text{ mm}^2 \geq 1264 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 meyakini bahwa tulangan *hoop* tersebut diperlukan sepanjang l_0 dari ujung kolom, l_0 dipilih yang terbesar di antara :

- d. Tinggi elemen kolom, h , di joint = 1500 mm
 - e. $1/6$ tinggi bersih kolom
- $$\frac{1}{6} \times 2200 = 366,6 \text{ mm}$$

f. 450 mm

Dengan demikian, diambil nilai $l_0 = 1500$ mm

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih diberi hoops dengan spasi minimum (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5)

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

- 150 mm

Maka s yang digunakan adalah 150 mm sepanjang sisa tinggi kolom

5.2.2.1 Desain Tulangan Geser Kolom

Desain tulangan geser kolom disyaratkan dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5. Gaya Geser desain, V_e harus ditentukan berdasarkan gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka-muka joint. Dalam hal ini penentuan V_e ditentukan berdasarkan nilai M_{pr} melalui V_{sway} yang telah dihitung sebelumnya dan hasil analisis struktur.

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} \times DF_{top} + M_{pr3} \times DF_{bottom}}{l_n}$$

Dimana :

DF = faktor distribusi momen berdasarkan kekakuan $\frac{l_n}{l_n + l_{n+1}}$

M_{pr1} dan M_{pr3} = penjumlahan M_{pr} balok

I_n = inersia penampang kolom yang ditinjau

I_{n+1} = inersia penampang diatas kolom yang ditinjau

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} \times DF_{top} + M_{pr3} \times DF_{bottom}}{l_n}$$

$$V_{sway} = \frac{(1157,01 + 1157,01) \times 0,5}{2,2} = 525,9 \text{ kN}$$

Namun V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur, V_u dari ETABS = 447,07 kN

Maka, digunakan $V_e = 525,9$ kN untuk desain geser

Gaya geser yang telah didapat kemudian digunakan untuk menentukan apakah kolom memerlukan tulangan geser tambahan dari tulangan *confinement* yang telah terpasang sebelumnya sepanjang l_o . Berdasarkan pasal 21.6.5.2, V_c harus diasumsikan 0 apabila 2 dari persyaratan dibawah ini terpenuhi

2. Gaya geser akibat gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o

$$V_{sway} > 0,5 V_c \dots \text{NOT OK}$$

Maka, V_c dapat diperhitungkan dalam menahan geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{40}}{6} \times 1500 \times 1428 = 2257,8 \text{ kN}$$

Jika gaya geser terfaktor melebihi 0,5 tahanan geser beton, maka diperlukan tulangan geser tambahan

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{525,9}{0,75} = 701,2$$

$$0,5 V_c = 0,5 \times 2257,8 = 1128,9 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} < 0,5 V_c$$

Jadi tidak perlu tulangan geser tambahan

Untuk keperluan tulangan geser diluar panjang l_o , digunakan nilai V_c yang memasukkan pengaruh gaya aksial sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

N_u adalah gaya aksial tekan terkecil dari kombinasi pembebanan. Dari analisis ETABS, didapat $N_u = 640,05 \text{ kN}$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{640,05}{14 \times 22,5 \times 10^6} \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1500 \times 1428$$

$$V_c = 2303,04 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} < V_c ; \text{OK}$$

Maka, tidak dibutuhkan tambahan tulangan sengkang pada panjang diluar l_o

5.2.2.2 Desain Lap Splices

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.3, sambungan lewatan untuk tulangan longitudinal kolom harus diaspang pada tengah tinggi

kolom dan harus diikat dengan *confinement* dengan spasi yang sama pada panjang l_o . Panjang sambungan lewatan, l_s , untuk tulangan longitudinal mengikuti SNI 2847:2013 Pasal 12.6.1

$$3. \quad l_s = 0,071 f_y d_b = 0,071 \times 420 \times 32 = 908,8 \text{ mm}$$

$$4. \quad l_s = 300 \text{ mm}$$

Namun, sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3.3, sambungan lewatan diizinkan hanya dalam setengah pusat panjang komponen struktur, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik

$$l_s = 1,3 l_d$$

Dimana :

$$l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_{ci}}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{420 \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) d_b = 48,36 d_b$$

Sehingga

$$l_s = 1,3 \times 48,36 \times 32 = 2011,95 \text{ mm}$$

Nilai ini dapat direduksi dengan 0,75 asalkan tidak lebih kecil dari 300 mm

$$l_{s \text{ pakai}} = 0,75 \times 2011,95 = 1508,96, \text{ dipasang } 1510 \text{ mm}$$

5.2.2.3 Desain Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom adalah tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom. Hubungan balok kolom yang didesain dalam subbab ini adalah HBK dari kolom yang telah didesain sebelumnya

3. Pengecekan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2.3, apabila terdapat tulangan balok longitudinal menerus melalui joint, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan longitudinal balok terbesar

$$\text{Lebar kolom} = 20 \times d_{b \text{ max}}$$

$$\text{Lebar kolom} = 20 \times 32 = 640 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar actual kolom} = 900 \text{ mm}$$

4. Penentuan Dimensi Joint

Dimensi Joint ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4 untuk mendesain koint kuat terhadap geser. Dimensi joint terdiri atas tinggi dan lebar yang ditentukan berdasarkan tinggi dan lebar kolom. Nilai A joint dapat ditentukan sebagai berikut :

$$A_j = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Dengan $D = 1500 \text{ mm}$

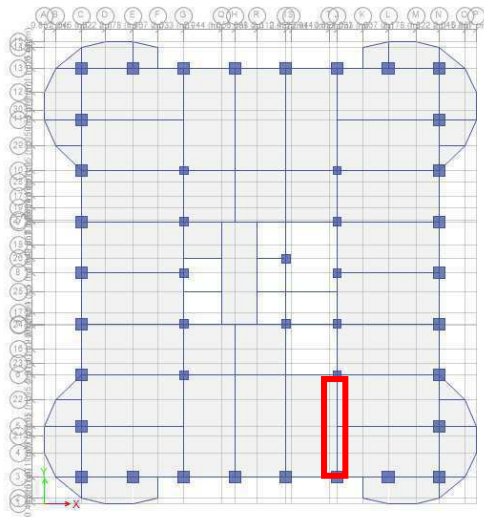
Sehingga

$$A_j = \frac{1}{4} \times \pi \times 1500^2 = 1767145,87 \text{ mm}^2$$

5.3 Desain Balok

5.3.1 Desain Balok Frame Tube

Dalam contoh desain ini dilakukan pengecekan hasil analisis dari ETABS dengan perhitungan manual terhadap satu balok, sedangkan balok lainnya didesain sesuai dengan hasil *output* dari ETABS. Balok yang dicek secara manual adalah balok B1 pada sistem *frame tube* yang memiliki dimensi 800 mm x 550 mm. Lokasi dari balok dapat dilihat pada gambar



Gambar 5. 9 Lokasi Balok B1

Tabel 5. 4 Properti Balok B1

Properti Balok					
H	800	mm	Selimut	40	mm
Bw	550	mm	Diameter Sengkang	13	mm
Fc'	30	MPa	Bentang Bersih (ln)	6500	mm
fy	420	MPa			

Tabel 5. 5 Area Tulangan Butuh Analisis ETABS Balok B1

Area Tulangan Butuh (ETABS)			
	End I (mm2)	Middle (mm2)	End J (mm2)
Top	1357	397	1357
Bottom	800	1109	739

Dari data *output* dari hasil analisis menggunakan ETABS perlu ditentukan tulangan terpasang yang memenuhi. Selain itu perlu juga ditentukan tulangan minimum dan maksimum yang harus terpasang. Tulangan minimum ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1. Berikut adalah contoh perhitungan dari area tulangan minimum untuk balok B1

- Syarat area minimum 1 : $\frac{\sqrt{f_{c'f}}}{4 f_y} b_w d$

d (asumsi tulangan diameter 22 mm)

d = h balok – selimut – diameter sengkang – 0,5 x diameter longitudinal

$$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 736 \text{ mm}$$

sehingga :

$$\frac{\sqrt{f_{c'f}}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 550 \times 736 = 1319,75 \text{ mm}^2$$

Syarat area minimum 2 : $\frac{1,4}{f_y} b_w d$

Sehingga :

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} \times 550 \times 736 = 1349,3 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat ditentukan bahwa nilai area tulangan minimum adalah 4D22

$$4D22 = 4 \times 380,13 = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 > 1349,3 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Selain pengecekan terhadap area tulangan minimum, perlu juga dilakukan pengecekan terhadap area tulangan maksimum. Area tulangan maksimum dicek guna untuk mengontrol balok agar tetap bersifat *under reinforced*.

Syarat 1 (SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1)

$$\rho < 0,025$$

$$A_s \text{ max} = 0,025 \times A_g$$

$$A_s \text{ max} = 0,025 \times 800 \times 550 = 11000 \text{ mm}^2$$

Syarat 2 (SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$\rho < 0,75 \rho_b$$

Dimana :

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 0,836 \cdot 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$A_s \text{ max} = (0,75 \times 0,03) \times 800 \times 550 = 9900 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapatkan bahwa area tulangan maksimum sebesar 9900 mm^2 . Area tulangan yang diperoleh dari ETABS masih dibawah persyaratan area tulangan maksimum. Berikut tulangan terpasang pada balok B1

Tabel 5. 6 Tabel Jumlah Tulangan Terpasang B1

Area Tulangan Terpasang			
	End I	Middle	End J
Top	4D22	3D22	4D22
Bottom	3D22	4D22	3D22

Tabel 5. 7 Area Tulangan Terpasang B1

Area Tulangan Terpasang			
	End I (mm2)	Middle (mm2)	End J (mm2)
Top	1520,53	1140,4	1520,53
Bottom	1140,4	1520,53	1140,4

5.3.1.1 Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.5.4, gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada komponen struktur antara dua muka joint balok dengan kolom. Momen M_{pr} dianggap bekerja bersama-sama pada muka kolom

M_{pr} harus dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan $1,25 f_y$. Dengan data balok B1 sebagai berikut :

- F_c' = 30 MPa
- F_y = 420 MPa
- β_1 = 0,836
- ϕ reduksi = 0,75 (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)
- B_w = 550 mm
- H = 800 mm
- ϕ sengkang = 13 mm

a. Hitung Momen Ujung (M_{pr})

Perhitungan M_{pr} balok dilakukan dengan mengasumsi sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai $1,25 f_y$

- Momen Ujung Negatif Tumpuan Kiri (M_{pr2})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b w} = \frac{1,25 \times 1520,53 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 56,9 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(736 - \frac{56,9}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 564,82 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Positif Tumpuan Kiri (M_{pr4})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 42,7 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1140,4 \times 420 \left(736 - \frac{42,7}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 427,87 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Negatif Tumpuan Kanan (M_{pr1})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1520,53 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 56,9 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(736 - \frac{56,9}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 564,82 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Positif Tumpuan Kanan (M_{pr3})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 42,7 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1140,4 \times 420 \left(736 - \frac{42,7}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 427,87 \text{ kN.m}$$

a. Sepanjang Sendi Plastis

- Gaya Geser Ultimate

Gaya geser akibat gravitasi didapat dari analisis ETABS, sedangkan gaya geser akibat gempa didapatkan dari M_{pr}

$$V_u = V_{sway} + V_g$$

Dimana :

Akibat goyangan ke kanan

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 1} + M_{pr \ 3}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{564,82 + 427,87}{6,5} = 152,72 \text{ kN}$$

Akibat goyangan ke kiri

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 2} + M_{pr \ 4}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{564,82 + 427,87}{6,5} = 152,72 \text{ kN}$$

Akibat beban gravitasi

$$V_g = 113,84 \text{ kN}$$

$$V_{g \text{ kanan}} = V_{g \text{ kiri}} = 113,84 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ kanan} = V_u \text{ kiri} = 152,72 + 113,84 = 266,56 \text{ kN}$$

- Pengecekan Syarat Penggunaan V_c

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2 mensyaratkan bahwa kekuatan geser beton saja (V_c) harus diambil sama dengan 0 pada perencanaan geser sendi plastis jika memenuhi kedua persyaratan berikut

1. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis diujung-ujung balok melebihi 0,5 atau lebih kuat daripada geser ultimate (V_u) di sepanjang bentang

$$V_{sway} > 0,5 V_u$$

$$152,72 > 0,5 \times 266,56$$

$$152,72 > 133,28 \text{ (memenuhi)}$$

2. Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari $\frac{A_g \times f_c'}{20}$

$$P_u = 0,252 \text{ kN (beban kombinasi envelope)}$$

$$\frac{A_g \times f_c'}{20} = \frac{(800 \times 550) \times 30}{20} = 660 \text{ kN}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20} \text{ (memenuhi)}$$

Karena dua persyaratan diatas semua terpenuhi maka $V_c = 0$

- Menentukan besar V_s perlu

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{266,56}{0,75} - 0 = 355,4 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9, nilai V_s Maksimum ditentukan sebagai berikut :

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 550 \times 736 \times 10^{-3} = 1478,12 \text{ kN}$$

$$V_s \leq V_s \text{ max} \dots \text{OK}$$

- Menentukan spasi tulangan, asumsi tulangan 2D13

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{265,54 \times 420 \times 736}{355,4 \times 10^3} = 230,9 \text{ mm}$$

Cek terhadap persyaratan spasi pada sendi plastis sesuai pasal 21.5.5.3.2

$$1. S \leq \frac{d}{4}$$

$$S \leq \frac{736}{4}$$

$$S \leq 184 \text{ mm}$$

2. $S \leq 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal terkecil}$

$$S \leq 6 \times 22$$

$$S \leq 132 \text{ mm}$$

3. $S \leq 150 \text{ mm}$

Berdasarkan syarat diatas, maka diambil spasi sebesar 130 mm

Cek kembali kapasitas geser balok dengan sengkang yang terpasang

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,54 \times 420 \times 736}{130} = 631,4 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 (0 + 631,4) = 473,55 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$473,55 \text{ kN} > 266,56 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

- b. Diluar Sendi Plastis

- Gaya Geser Ultimate

Gaya geser akibat gravitasi didapat dari analisis ETABS, sedangkan gaya geser akibat gempa didapatkan dari M_{pr}

$$V_u = V_{sway} + V_g$$

Dimana :

Akibat goyangan ke kanan

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 1} + M_{pr \ 3}}{l_n}$$

$$V_{\text{sway kanan}} = \frac{564,82 + 427,87}{6,5} = 152,72 \text{ kN}$$

Akibat goyangan ke kiri

$$V_{\text{sway kanan}} = \frac{M_{pr\ 2} + M_{pr\ 4}}{l_n}$$

$$V_{\text{sway kanan}} = \frac{564,82 + 427,87}{6,5} = 152,72 \text{ kN}$$

Akibat beban gravitasi sejauh 2h dari muka kolom

$$2h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

$$V_g = 59,4 \text{ kN}$$

$$V_{g\ \text{kanan}} = V_{g\ \text{kiri}} = 59,4 \text{ kN}$$

$$V_{u\ \text{kanan}} = V_{u\ \text{kiri}} = 152,72 + 59,4 = 212,12 \text{ kN}$$

- Pengecekan Syarat Penggunaan V_c

V_c pada penampang diluar sendi plastis dapat diperhitungkan dengan persamaan penentuan kebutuhan sengkang

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 550 \times 736 = 369,5 \text{ kN}$$

- Menentukan besar V_s perlu

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{212,12}{0,75} - 369,5 = 86,67 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9, nilai V_s Maksimum ditentukan sebagai berikut :

$$V_{s\ \text{max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_{s\ \text{max}} = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 550 \times 736 \times 10^{-3} = 1478,12 \text{ kN}$$

$$V_s \leq V_{s\ \text{max}} \dots \text{OK}$$

- Menentukan spasi tulangan, asumsi tulangan 2D13

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{265,54 \times 420 \times 736}{86,67 \times 10^3} = 947 \text{ mm}$$

Cek terhadap persyaratan spasi pada sendi plastis sesuai pasal 21.3.4.3.

$$\begin{aligned} 1. \quad S &\leq \frac{3 A_v f_y}{b_w} \\ S &\leq \frac{3 \times 265,54 \times 420}{550} \\ S &\leq 608,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad S &\leq 0,5 d \\ S &\leq 0,5 \times 736 \\ S &\leq 368 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$3. \quad S \leq 600 \text{ mm}$$

Berdasarkan syarat diatas, maka diambil spasi sebesar 350 mm

Cek kembali kapasitas geser balok dengan sengkang yang terpasang

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,54 \times 420 \times 736}{350} = 234,52 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 (369,5 + 234,52) = 453,015 \text{ kN}$$

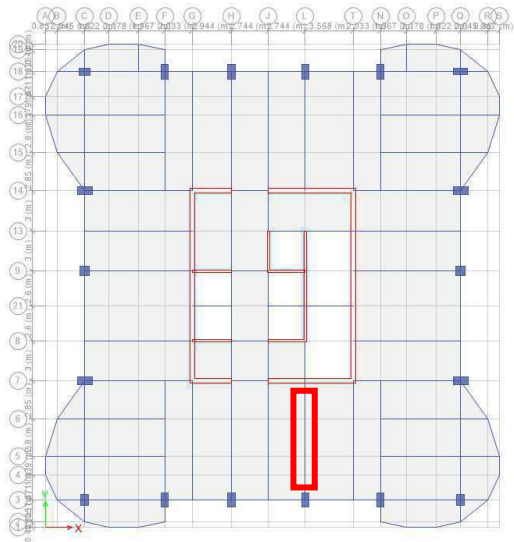
$$\phi V_n > V_u$$

$$453,015 \text{ kN} > 212,12 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

5.3.2 Desain Balok Dual Sistem

Dalam contoh desain ini dilakukan pengecekan hasil analisis dari ETABS dengan perhitungan manual terhadap satu balok,

sedangkan balok lainnya didesain sesuai dengan hasil *output* dari ETABS. Balok yang dicek secara manual adalah balok B1 pada sistem dual sistem yang memiliki dimensi 800 mm x 550 mm. Lokasi dari balok dapat dilihat pada gambar



Gambar 5. 10 Lokasi Balok B1F

Tabel 5. 8 Properti Balok B1F

Properti Balok					
H	600	mm	Selimut	40	mm
Bw	550	mm	Diameter Sengkang	13	mm
Fc'	30	MPa	Bentang Bersih (ln)	8900	mm
fy	420	MPa			

Tabel 5. 9 Area Tulangan Butuh Analisis ETABS Balok B1F

Area Tulangan Butuh (ETABS)			
	End I (mm2)	Middle (mm2)	End J (mm2)
Top	1277	456	1409
Bottom	797	990	921

Dari data *output* dari hasil analisis menggunakan ETABS perlu ditentukan tulangan terpasang yang memenuhi. Selain itu perlu juga ditentukan tulangan minimum dan maksimum yang harus terpasang. Tulangan minimum ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1. Berikut adalah contoh perhitungan dari area tulangan minimum untuk balok B1

- Syarat area minimum 1 : $\frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d$

d (asumsi tulangan diameter 22 mm)

d = h balok – selimut – diameter sengkang – 0,5 x diameter longitudinal

$$d = 600 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 536 \text{ mm}$$

sehingga :

$$\frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} b_w d = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 550 \times 536 = 961,12 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat area minimum 2 : } \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Sehingga :

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} \times 550 \times 536 = 982,66 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat ditentukan bahwa nilai area tulangan minimum adalah 4D22

$$4D22 = 4 \times 380,13 = 1520,52 \text{ mm}^2$$

$$1520,52 \text{ mm}^2 > 982,66 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Selain pengecekan terhadap area tulangan minimum, perlu juga dilakukan pengecekan terhadap area tulangan maksimum. Area tulangan maksimum dicek guna untuk mengontrol balok agar tetap bersifat *under reinforced*.

Syarat 1 (SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1)

$$\rho < 0,025$$

$$A_s \text{ max} = 0,025 \times A_g$$

$$A_s \text{ max} = 0,025 \times 600 \times 550 = 8250 \text{ mm}^2$$

Syarat 2 (SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$\rho < 0,75 \rho_b$$

Dimana :

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 0,836 \cdot 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$A_s \text{ max} = (0,75 \times 0,03) \times 600 \times 550 = 7425 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapatkan bahwa area tulangan maksimum sebesar 7425 mm². Area tulangan yang diperoleh dari ETABS masih dibawah persyaratan area tulangan maksimum. Berikut tulangan terpasang pada balok B1F

Tabel 5. 10 Jumlah Tulangan Terpasang B1F

Area Tulangan Terpasang			
	End I	Middle	End J
Top	4D22	3D22	4D22
Bottom	3D22	3D22	3D22

Tabel 5. 11 Area Tulangan Terpasang B1F

Area Tulangan Terpasang			
	End I (mm2)	Middle (mm2)	End J (mm2)
Top	1520,53	1140,4	1520,53
Bottom	1140,4	1140,4	1140,4

5.3.2.1 Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.5.4, gaya geser rencana V harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada komponen struktur antara dua muka joint balok dengan kolom. Momen M_{pr} dianggap bekerja bersama-sama pada muka kolom

M_{pr} harus dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan $1,25 f_y$. Dengan data balok B1F sebagai berikut :

- F_c' = 30 MPa
- F_y = 420 MPa
- β_1 = 0,836
- \emptyset reduksi = 0,75 (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)
- B_w = 550 mm
- H = 600 mm
- \emptyset sengkang = 13 mm

b. Hitung Momen Ujung (M_{pr})

Perhitungan M_{pr} balok dilakukan dengan mengasumsi sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai $1,25 f_y$

- Momen Ujung Negatif Tumpuan Kiri (M_{pr2})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b w} = \frac{1,25 \times 1520,53 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 56,9 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(536 - \frac{56,9}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 405,16 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Positif Tumpuan Kiri (M_{pr4})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 42,7 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1140,4 \times 420 \left(536 - \frac{42,7}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 308,13 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Negatif Tumpuan Kanan (M_{pr1})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1520,53 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 56,9 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1520,53 \times 420 \left(536 - \frac{56,9}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 405,16 \text{ kN.m}$$

- Momen Ujung Positif Tumpuan Kanan (M_{pr3})

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} = \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 550} = 42,7 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 1140,4 \times 420 \left(736 - \frac{42,7}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 308,13 \text{ kN.m}$$

Desain Sengkang Geser

c. Sepanjang Sendi Plastis

- Gaya Geser Ultimate

Gaya geser akibat gravitasi didapat dari analisis ETABS, sedangkan gaya geser akibat gempa didapatkan dari M_{pr}

$$V_u = V_{sway} + V_g$$

Dimana :

Akibat goyangan ke kanan

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 1} + M_{pr \ 3}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{405,16 + 308,13}{8,9} = 80,14 \text{ kN}$$

Akibat goyangan ke kiri

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 2} + M_{pr \ 4}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{405,16 + 308,13}{8,9} = 80,14 \text{ kN}$$

Akibat beban gravitasi

$$V_g = 159,04 \text{ kN}$$

$$V_{g \text{ kanan}} = V_{g \text{ kiri}} = 159,04 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ kanan} = V_u \text{ kiri} = 80,14 + 159,04 = 239,18 \text{ kN}$$

- Pengecekan Syarat Penggunaan V_c

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2 mensyaratkan bahwa kekuatan geser beton saja (V_c) harus diambil sama dengan 0 pada perencanaan geser sendi plastis jika memenuhi kedua persyaratan berikut

3. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis diujung-ujung balok melebihi 0,5 atau lebih kuat daripada geser ultimate (V_u) di sepanjang bentang

$$V_{sway} > 0,5 V_u$$

$$80,14 > 0,5 \times 239,18$$

$$80,14 > 119,59 \text{ (tidak memenuhi)}$$

4. Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari $\frac{A_g \times f_c'}{20}$

$$P_u = 2,16 \text{ kN (beban kombinasi envelope)}$$

$$\frac{A_g \times f_c'}{20} = \frac{(800 \times 550) \times 30}{20} = 660 \text{ kN}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20} \text{ (memenuhi)}$$

Karena dua persyaratan diatas semua tidak semua terpenuhi maka $V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d$

- Menentukan besar V_c

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 550 \times 536$$

$$V_c = 269,1 \text{ kN}$$

- Menentukan besar V_s perlu

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{239,18}{0,75} - 269,1 = 49,8 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9, nilai V_s Maksimum ditentukan sebagai berikut :

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 550 \times 536 \times 10^{-3} = 1076,46 \text{ kN}$$

$$V_s \leq V_s \text{ max} \dots \text{OK}$$

- Menentukan spasi tulangan, asumsi tulangan 2D13

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{265,54 \times 420 \times 736}{49,8 \times 10^3} = 1200 \text{ mm}$$

Cek terhadap persyaratan spasi pada sendi plastis sesuai pasal 21.5.5.3.2

1. $S \leq \frac{d}{4}$
 $S \leq \frac{536}{4}$
 $S \leq 134 \text{ mm}$
2. $S \leq 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal terkecil}$
 $S \leq 6 \times 22$
 $S \leq 132 \text{ mm}$
3. $S \leq 150 \text{ mm}$

Berdasarkan syarat diatas, maka diambil spasi sebesar 130 mm

Cek kembali kapasitas geser balok dengan sengkang yang terpasang

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,54 \times 420 \times 536}{130} = 459,8 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 (269,1 + 459,8) = 546,68 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$546,68 \text{ kN} > 239,18 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

d. Diluar Sendi Plastis

- Gaya Geser Ultimate

Gaya geser akibat gravitasi didapat dari analisis ETABS, sedangkan gaya geser akibat gempa didapatkan dari M_{pr}

$$V_u = V_{sway} + V_g$$

Dimana :

Akibat goyangan ke kanan

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 1} + M_{pr \ 3}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{405,16 + 308,13}{8,9} = 80,14 \text{ kN}$$

Akibat goyangan ke kiri

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{M_{pr \ 2} + M_{pr \ 4}}{l_n}$$

$$V_{sway \text{ kanan}} = \frac{405,16 + 308,13}{8,9} = 80,14 \text{ kN}$$

Akibat beban gravitasi 2h dari muka kolom

$$2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$$

$$V_g = 98,78 \text{ kN}$$

$$V_g \text{ kanan} = V_g \text{ kiri} = 98,78 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ kanan} = V_u \text{ kiri} = 80,14 + 98,78 = 178,92 \text{ kN}$$

- Menentukan besar V_c

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 550 \times 536$$

$$V_c = 269,1 \text{ kN}$$

- Menentukan besar V_s perlu

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{178,92}{0,75} - 269,1 = 30,54 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9, nilai V_s Maksimum ditentukan sebagai berikut :

$$V_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 550 \times 536 \times 10^{-3} = 1076,46 \text{ kN}$$

$$V_s \leq V_s \max \dots \text{OK}$$

- Menentukan spasi tulangan, asumsi tulangan 2D13

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{265,54 \times 420 \times 536}{30,54 \times 10^3} = 1957 \text{ mm}$$

Cek terhadap persyaratan spasi pada daerah luar sendi plastis sesuai pasal 21.3.4.3.

$$1. \quad S \leq \frac{3 A_v f_y}{b_w}$$

$$S \leq \frac{3 \times 265,54 \times 420}{550}$$

$$S \leq 608,33 \text{ mm}$$

$$2. \quad S \leq 0,5 d$$

$$S \leq 0,5 \times 536$$

$$S \leq 268 \text{ mm}$$

$$3. \quad S \leq 600 \text{ mm}$$

Berdasarkan syarat diatas, maka diambil spasi sebesar 250 mm

Cek kembali kapasitas geser balok dengan sengkang yang terpasang

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{265,54 \times 420 \times 536}{250} = 239,11 \text{ kN}$$

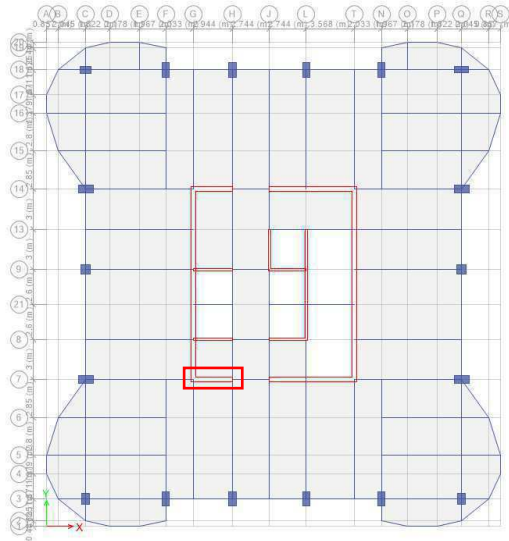
$$\phi V_n = 0,75 (269,1 + 239,11) = 381,16 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$381,16 \text{ kN} > 178,92 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

5.4 Desain Elemen Shear Wall

Dalam perhitungan ini digunakan Pier 1 pada lantai 1 sebagai bagian dinding struktur yang akan direncanakan



Gambar 5. 11Elemen Pier 3 Shear Wall

1. Cek Kebutuhan Dua Lapis Tulangan

Baja tulangan vertical dan horizontal masing-masing harus dipasang dua lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi :

$$\frac{1}{6} A_{cw} \sqrt{f'c}$$

$$V_u = 1320,84 \text{ kN}$$

$$f'c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Panjang ShearWall = 2,944 meter

Tebal Shear Wall = 0,5 meter

$$A_{cw} = 2944 \times 500 = 1472000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1}{6} A_{cw} \sqrt{f_c'} = \frac{1}{6} \times 1472000 \times \sqrt{30} = 1551,6 \text{ kN}$$

$\frac{1}{6} A_{cw} \sqrt{f_c'} > V_u$, sehingga diperlukan satu lapis tulangan, namun untuk memenuhi rasio tulangan, digunakan 2 lapis tulangan.

2. Perhitungan Kebutuhan Baja Tulangan Vertikal dan Horizontal

Untuk dinding structural, rasio tulangan vertical dan horizontal ρ minimum adalah 0,0025 sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1

$$\rho_l \geq 0,0025$$

$$\rho_t \geq 0,0025$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

Dimana :

ρ_l = rasio tulangan longitudinal

ρ_t = rasio tulangan transversal

s = spasi maksimum masing-masing tulangan

Area dinding per meter

$$A = b \times t$$

$$= 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

Sehingga tulangan minimum

$$\rho = \frac{A_{tulangan}}{A_{beton}}$$

$$A_{tulangan \text{ minimum}} = 0,0025 \times 0,5 \text{ m}^2 = 1250 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan dua lapis tulangan dengan 2D16

$$\text{Luas tulangan 2D16} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 402,29 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$\frac{A_{\text{butuh}}}{A_{\text{pasang}}} = \frac{1250}{402,29} = 2,49 \sim 3 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan yang diperlukan per meter :

$$S = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \sim \text{pakai } 300 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan 2D16-300 di kedua arah

3. Cek Kebutuhan Tulangan Untuk Menahan Geser

$$V_u = 1320,84 \text{ kN}$$

$$P_u = 28585,3 \text{ kN}$$

$$M_u = 87079.2391 \text{ kN.m}$$

Kuat geser nominal dinding struktur yang dicantumkan dalam SNI Beton Pasal 21.9.4.1 :

$$V_n = A_{cw} (\alpha_c \times \lambda \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y)$$

Dimana :

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \leq 1,15$$

$$\alpha_c = 0,17 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

Pada shear wall yang ditinjau

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{134,4}{2,944} = 45 \geq 2$$

Sehingga $\alpha_c = 0,17$

Pada dinding terdapat tulangan transversal dengan konfigurasi 2D16-300, cek rasio tulangan

$$\rho_t = \frac{402,29}{300 \times 500} = 0,00268 > 0,0025 \dots \text{OK}$$

Cek kuat geser

$$V_n = A_{cw} (\alpha_c \times \lambda \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y)$$

$$V_n = 1472000(0,17 \times 1 \times \sqrt{40} + 0,00268 \times 420)$$

$$V_n = 3239,5 \text{ kN}$$

Cek kuat geser maksimum

$$V_n \text{ maksimum} = 0,83 \times A_{cw} \times \sqrt{f_c'}$$

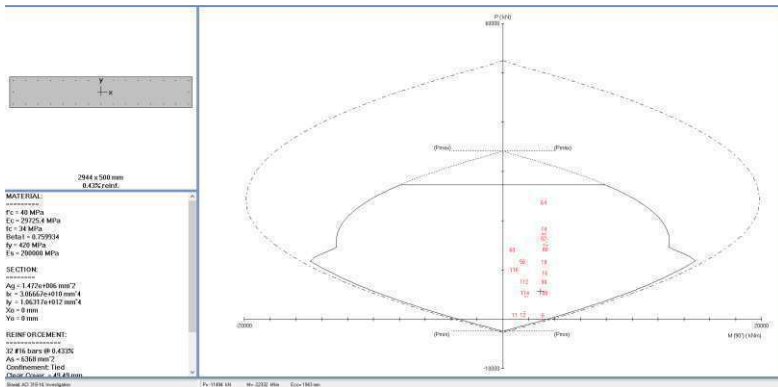
$$V_n \text{ maksimum} = 0,83 \times 1472000 \times \sqrt{40} = 7727 \text{ kN}$$

$$V_n \text{ maksimum} > V_n \dots \text{OK}$$

$$\text{Sehingga, } \phi V_n = 0,75 \times 3239,5 = 2429,62 \text{ kN} > 1320,84 \dots \text{OK}$$

4. Kontrol Kebutuhan Tulangan Penahan Kombinasi Aksial dan Lentur

Untuk perhitungan tulangan longitudinalnya menggunakan diagram interaksi P-M hasil program SP Column. Dari gambar diketahui bahwa persyaratan tulangan shearwall yang dirancang masih memenuhi syarat



Gambar 5. 12 Diagram Interaksi P-M Shearwall

5. Cek kebutuhan Elemen Pembatas

Kebutuhan elemen pembatas pada dinding geser diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 21.9.6. Elemen pembatas diperlukan apabila :

$$C \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

Dimana:

C = sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal

l_w = lebar dinding geser

δ_u = perpindahan/displacement

h_w = tinggi keseluruhan dinding geser

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	P _u	M _{ux}	M _{uy}	φM _{nx}	φM _{ny}	φM _n /M _u	NA Depth	dt Depth	ε _t	φ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
60	14377.00	5.50	406.42	171.78	12685.93	31.214	1594	2665	0.00202	0.650
61	14071.79	195.86	165.04	2089.80	1761.01	10.670	349	544	0.00169	0.650
62	7222.09	139.80	493.64	1509.57	5330.18	10.798	323	792	0.00527	0.900
63	3295.71	376.92	1508.16	1046.70	4188.17	2.777	240	817	0.00920	0.900
64	23941.34	64.52	2837.80	234.72	10324.28	3.638	2229	2412	0.00025	0.650
65	23481.83	165.17	1447.54	978.88	8561.23	5.914	1011	1161	0.00045	0.650
66	3124.91	244.46	2943.28	558.93	6729.37	2.286	480	1904	0.00889	0.900
67	16607.62	331.48	38.17	2230.91	256.88	6.730	338	457	0.00105	0.650
68	16799.30	113.02	67.84	2129.98	1278.51	18.847	380	515	0.00104	0.650

Gambar 5. 13 Nilai c Dinding Geser

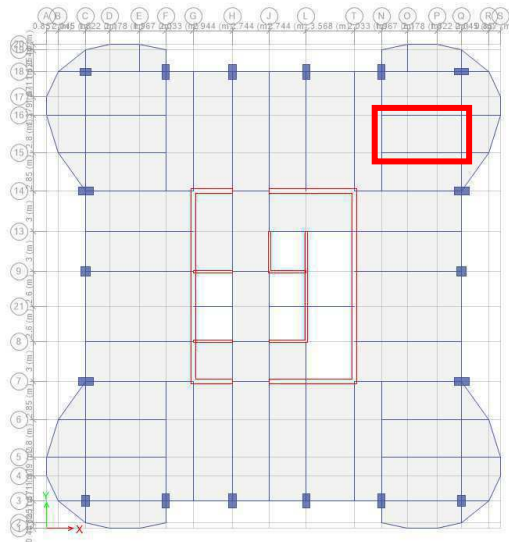
Nilai c berdasarkan hasil sp column diatas didapat 2229 mm, sementara untuk nilai δ_u di ETABS adalah 297,3 mm

$$\delta_u/h_w = 297,3/134400 = 0,002$$

$$\frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} = \frac{2944}{600(0,002)} = 2255,064 > 2229 \text{ mm, maka tidak membutuhkan elemen pembatas}$$

5.5 Desain Pelat

Perancangan pelat akan diambil satu contoh elemen pelat lantai yang akan dihitung secara manual berdasarkan denah gambar



Gambar 5. 14 Pelat Yang Ditinjau

Diketahui :

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$L_x = 5967 \text{ mm}$$

$$L_y = 2800 \text{ mm}$$

Pembebanan untuk pelat lantai 1 adalah :

- *Super Dead Load*
 - Plafon $= 21 \text{ kg/m}^2$
 - Penggantung $= 7 \text{ kg/m}^2$
 - Tegel $= 24 \text{ kg/m}^2$
 - Spesi (tebal 2 cm) $= 42 \text{ kg/m}^2$
 - Ducting + Plumbing $= 30 \text{ kg/m}^2$
 - Adukan Finishing $= 21 \text{ kg/m}^2$
- Total *Super Dead Load* $= 135 \text{ kg/m}^2 = 1,35 \text{ kN/m}^2$
- Beban Hidup $= 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Berat Sendiri Pelat $= 0,15 \times 24 = 3,6 \text{ kN/m}^2$

Langkah perhitungan dilakukan sebagai berikut :

- a. Cek perbandingan L_x dan L_y

$$\frac{5967}{2800} = 2,13 > 2$$

Karena perbandingan L_x dan L_y lebih besar dari 2, maka pelat termasuk pelat satu arah

- b. Hitung beban terfaktor yang dipikul pelat

$$\omega_u = 1,2D + 1,2 \text{ SDL} + 1,6 \text{ LL}$$

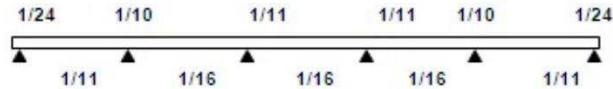
$$\omega_u = 1,2 (3,6) + 1,2 (1,35) + 1,6 (2,5) = 9,94 \text{ kN/m}^2$$

- c. Menentukan Momen

Karena pelat yang ditinjau merupakan pelat satu arah, maka momen untuk arah X dapat diabaikan karena *tributary area* nya sangat kecil, sehingga dapat diasumsikan seluruh gaya ditahan pada sisi pendek L_y . Nilai momen ultimate dilakukan dengan menggunakan koefisien momen α

$$M_u = \alpha \times \omega_u \times L_y^2$$

Koefisien α yang digunakan didasarkan pada keadaan ujung-ujung L_y , apakah memiliki ujung menerus atau tidak, dapat disimpulkan dalam ilustrasi berikut :



Gambar 5. 15 Koefisien Momen Tumpuan dan Lapangan Pada Bentang

$$M_u = \alpha \times \omega_u \times L_y^2$$

$$M_u \text{ lapangan} = \frac{1}{11} \times 9,94 \times 2,8^2 = 7,08 \text{ kN.m}$$

$$M_u \text{ tumpuan} = \frac{1}{24} \times 9,94 \times 2,8^2 = 3,25 \text{ kN.m}$$

d. Hitung nilai d

d = Tebal pelat – (tebal cover + $0,5 \times$ diameter tulangan)

$$d = 150 - (20 + 0,5 \times 10)$$

$$d = 125 \text{ mm}$$

e. Hitung nilai J_d

$$J_d = 0,925 \times d$$

$$J_d = 0,925 \times 125 = 115,625 \text{ mm}$$

f. Hitung luas tulangan perlu

• Tumpuan Y

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{M_u}{\phi \times J_d \times f_y} \\ &= \frac{3,25 \times 10^6}{0,9 \times 115,625 \times 420} = 74,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

• Lapangan Y

$$\text{As perlu} = \frac{M_u}{\phi \times J_d \times f_y}$$

$$= \frac{7,08 \times 10^6}{0,9 \times 115,625 \times 420} = 161,9 \text{ mm}^2$$

g. Hitung a

- Tumpuan Y

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{74,36 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 1,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lapangan Y

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{161,9 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 2,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

h. Hitung ϕM_n

- Tumpuan Y

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y (d - 0,5 a) \\ \phi M_n &= 0,9 \times 74,36 \times 420 (125 - 0,5 \times 1,22) \\ \phi M_n &= 3,49 \text{ kN.m} \\ M_u &= 3,25 \text{ kN.m} \\ \phi M_n &> M_u \dots \text{OK} \end{aligned}$$

- Lapangan Y

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y (d - 0,5 a) \\ \phi M_n &= 0,9 \times 161,9 \times 420 (125 - 0,5 \times 2,66) \\ \phi M_n &= 7,57 \text{ kN.m} \\ M_u &= 7,08 \text{ kN.m} \\ \phi M_n &> M_u \dots \text{OK} \end{aligned}$$

i. Hitung S perlu

Asumsi digunakan tulangan D10 dengan luasan

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ A &= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \end{aligned}$$

$$A = 78,54 \text{ mm}^2$$

As min dan jarak minimum antartulangan

$$As_{\min} = 0,18\% \times A_g = 0,18\% \times (150 \times 1000)$$

$$As_{\min} = 270 \text{ mm}^2$$

Jarak minimum = 2 x Tebal Pelat

$$= 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D10-300

$$As = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 4$$

$$As = 314,2 \text{ mm}^2 \text{ per meter}$$

$$As > As_{\min} \dots \text{OK}$$

Sehingga S perlu

- Tumpuan Y

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{1000}{n} \\ &= \frac{1000}{As_{\text{perlu}} / As_{D10}} \\ &= 1000 \times \frac{78,54}{74,36} \\ &= 1056 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dapat digunakan D10-300

- Lapangan Y

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{1000}{n} \\ &= \frac{1000}{As_{\text{perlu}} / As_{D10}} \\ &= 1000 \times \frac{78,54}{161,9} \\ &= 485,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

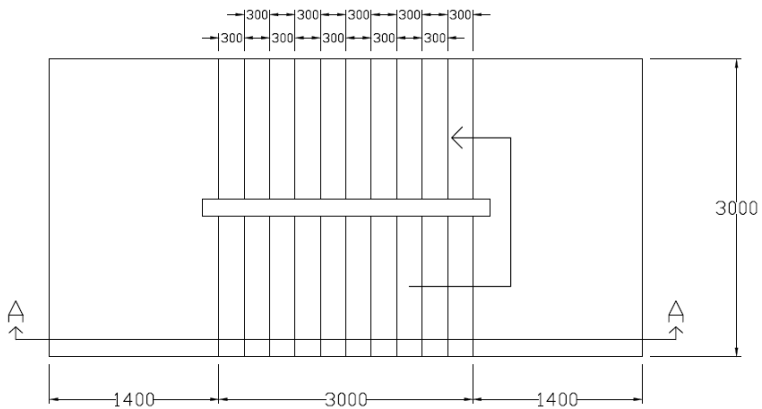
Dapat digunakan D10-300

5.6 Desain Tangga

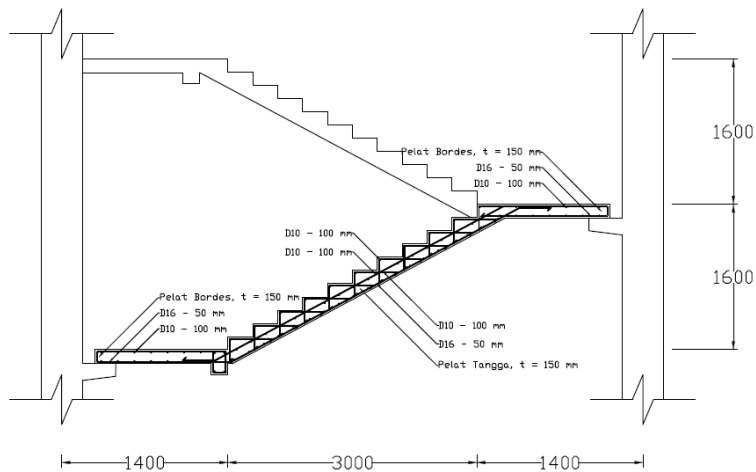
5.6.1.1 Data-data Perencanaan Tangga

Tinggi antar lantai	: 320 cm
Tinggi bordes	: 160 cm
Panjang bordes	: 140 cm
Lebar bordes	: 300 cm
Tebal Bordes	: 15 cm
Tinggi injakan	: 16 cm
Lebar injakan	: 30 cm
Decking	: 2 cm
F_c'	: 30 MPa
F_y	: 420 MPa

Denah dan potongan tangga yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar



Gambar 5. 16 Rencana Tangga



Gambar 5. 17 Gambar Potongan Tangga

5.6.1.2 Perencanaan Pelat Anak Tangga

Persyaratan perhitungan tangga adalah sebagai berikut

Tinggi injakan (t) = 16 cm

$$\text{Jumlah tanjakan} = \frac{160}{16} = 10 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah injakan} = 10 - 1 = 9 \text{ buah}$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{160}{30 \times 9} \right) = 30,65 \text{ derajat (OK)}$$

5.6.1.3 Pembebanan Tangga dan Bordes

Pembebanan Tangga

- Beban Mati

$$\text{Pelat Tangga} = \frac{0,15 \times 2400}{\cos 30,65} = 418,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t=2)} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik (t=1)} = 1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban Mati total} = 484,4 \text{ kg/m}^2$$

$$= 484,4 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 = 726,6 \text{ kg/m}$$

- Berat Railing = 30 kg/m
 = 726,6 + 30 = 756,6 kg/m
- Beban Hidup = 250 x 1,5 = 375 kg/m
 - Beban Kombinasi = 1,2 D + 1,6 L
 = (1,2 x 756,6) + (1,6 x 375) = 1507,92 kg/m

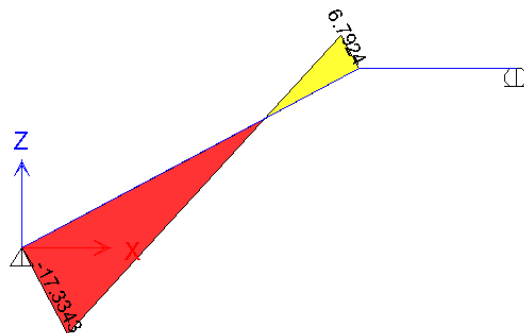
Pembebanan Bordes

- Beban Mati
 - Pelat Tangga = 0,15 x 2400 = 360 kg/m²
 - Spesi (t=2) = 2 x 21 = 42 kg/m²
 - Keramik (t=1) = 1 x 24 = 24 kg/m²
 - Beban Mati total = 426 kg/m²
- Beban Hidup = 250 kg/m²
- Beban Kombinasi = 1,2 D + 1,6 L
 = (1,2 x 426) + (1,6 x 250) = 911,2 kg/m²
 = 911,2 x 1,5 = 1366,8 kg/m²

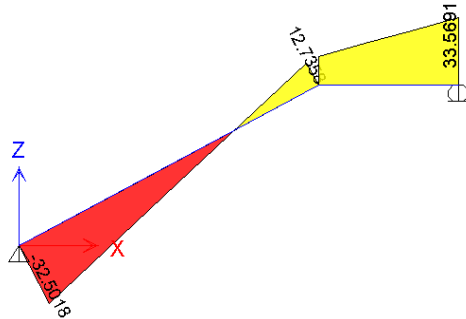
5.6.1.4 Perhitungan Gaya Pada Tangga

Proses analisa struktur tangga akan dilakukan dengan software ETABS dengan pembebanan yang telah dihitung sebelumnya dan menghasilkan output dalam satuan kN seperti pada gambar

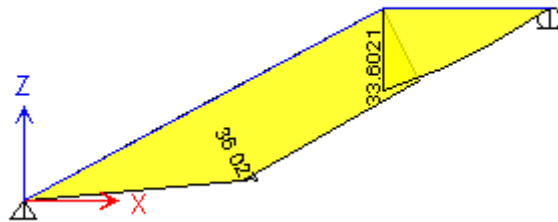
Bidang N



Bidang Geser



Bidang Momen



5.6.1.5 Perhitungan Tulangan Tangga

Data Perencanaan Tulangan Tangga

- Anak Tangga**

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter Tulangan (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$d = 150 - 20 - (0,5 \times 16) = 122 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,003$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{30 - 28}{7} \right) = 0,84$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,03 = 0,0225$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

• Bordes

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter Tulangan (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$d = 150 - 20 - (0,5 \times 16) = 122 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,003$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{30 - 28}{7} \right) = 0,84$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,03 = 0,0225$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

Perhitungan Penulangan

a. Penulangan Pelat Tangga

• Penulangan Lentur

$$M_u = 3602,7 \text{ kgm} = 36027000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{36027000}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,69$$

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,69}{420}} \right) = 0,033$$

$$\rho > \rho_{max}, \text{ gunakan } \rho_{max} = 0,0225$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,0225 \times 1000 \times 122 = 2745 \text{ mm}^2$$

$$\text{As D16} = \pi \times r^2 = \pi \times 8^2 = 201,143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{2745}{201,143} = 13,65 \sim 14 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1000}{14} = 71 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 14 \times 201,143 = 2816 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur D16-50

$$\text{As tulangan bagi} = 20\% \times \text{As} = 0,2 \times 2816 = 563,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{As D10} = \pi \times 5^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{563,2}{78,54} = 7,17 \sim 8 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 8 \times 78,54 = 628,32$$

Digunakan D10-100

• Penulangan Geser

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1500 \times 122 = 170396,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 170396,5 = 63898,7 \text{ N}$$

$$V_u = 32502 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 63898,7 \text{ N} \dots \text{OK}$$

• Penulangan Susut

$$\rho = 0,002$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 1500 \times 122 = 366 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ D10} = \pi \times 5^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{366}{78,54} = 4,66 \sim 5 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1500}{5} = 300 \text{ mm}$$

b. Penulangan Pelat Bordes

• Penulangan Lentur

$$Mu = 3360,2 \text{ kgm} = 33602000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{33602000}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,5$$

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,5}{420}} \right) = 0,06$$

$$\rho < \rho_{max}, \text{ gunakan } \rho_{maks} = 0,0225$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0225 \times 1000 \times 122 = 2745 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ D16} = \pi \times r^2 = \pi \times 8^2 = 201,143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{2745}{201,143} = 13,65 \sim 14 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1000}{14} = 71 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$$

$$As \text{ pakai} = 14 \times 201,143 = 2816 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur D16-50

$$As \text{ tulangan bagi} = 20\% \times As = 0,2 \times 2816 = 563,2 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ D10} = \pi \times 5^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{563,2}{78,54} = 7,17 \sim 8 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$$

$$As \text{ pakai} = 8 \times 78,54 = 628,32$$

Digunakan D10-100

• Penulangan Geser

$$Vu \leq 0,5 \phi Vc$$

$$Vc = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1500 \times 122 = 170396,5 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 170396,5 = 63898,7 \text{ N}$$

$$V_u = 32502 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 63898,7 \text{ N} \dots \text{OK}$$

- Penulangan Susut

$$\rho = 0,002$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 1500 \times 122 = 366 \text{ mm}^2$$

$$A_s D10 = \pi \times 5^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{366}{78,54} = 4,66 \sim 5 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1500}{5} = 300 \text{ mm}$$

c. Penulangan Balok Bordes

Gunakan dimensi balok bordes 30/40

Tulangan D16

Beban Mati (DL)

- Pelat Bordes = $2400 \times 1,5 \times 1,4 = 336 \text{ kg/m}$

- Berat Balok = $0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$

- $q_{DL} = 792 \text{ kg/m}$

Beban Hidup = $250 \times 1,4 = 350 \text{ kg/m}$

Beban Kombinasi = $1,2 D + 1,6 L$

$$= (1,2 \times 792) + (1,6 \times 350) = 1510,4 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 1/10 \times q_u \times L^2$$

$$= 1/10 \times 1510,4 \times 3^2 = 1359,4 \text{ kgm}$$

$$d = 400 - 40 - 0,5 \times 16 = 342 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1359,4}{0,9} = 15104000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{15104000}{300 \times 342^2} = 1,068 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,003$$

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,068 \times 16,47}{420}} \right) = 0,003$$

Gunakan ρ perlu = 0,003

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d = 0,003 \times 300 \times 342 = 307,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{As D10} = \pi \times r^2 = \pi \times 5^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{307,8}{78,54} = 3,9 \sim 4 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak Tulangan (mm)} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 4 \times 78,54 = 314,16 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur D10-250

- Penulangan Geser

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1500 \times 342 = 477668,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 477668,8 = 179125,8 \text{ N}$$

$$V_u = 33569 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 179125,8 \text{ N} \dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan geser praktis

Lapangan = D10-150

Tumpuan = D10-200

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Tulangan Tangga

Nama Struktur	Tulangan		
	Lentur	Bagi	
Pelat Tangga	D16-50	D10-100	
Pelat Bordes	D16-50	D10-100	
Nama Struktur	Lentur	Geser	
		Lapangan	Tumpuan
Balok Bordes	4D10	D10-200	D10-150

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir Studi Perilaku Gedung Bertingkat Tinggi dengan Sistem Struktur Frame Tube ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Permodelan struktur gedung bertingkat tinggi dengan objek gedung Grand Dharmahusada Lagoon dengan eksisting dual sistem, lalu dibandingkan dengan sistem *frame tube* dilakukan dengan *software* ETABS
2. Preliminary Design untuk sistem *frame tube* meliputi pelat, balok, balok tinggi, dan kolom menggunakan SNI 2847:2013
3. Pembebanan gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726:2012 sedangkan untuk pembebanan angin dilakukan berdasarkan ASCE 7-10
4. Parameter perilaku struktur : *base shear*, *displacement*, *drift*, dan periode

Tabel 6. 1 Perbandingan Base Shear, Displacement, Drift, dan Periode

	Frame Tube	Dual Sistem
Periode	3,298 s	5,172 s
Base Shear	13174 kN	11806,3 kN
Drift	Memenuhi Syarat	Tidak memenuhi Syarat

5. Dampak dari tiga jenis exposure terhadap *displacement* gedung, rata-rata kenaikan nilai *displacement* dari exposure B ke C dan ke D adalah naik sebesar 11,4%
6. Perbandingan pengaruh beban angin dengan beban gempa, menghasilkan hasil bahwa beban angin dengan kecepatan 120 mph pada exposure D lebih dominan daripada beban gempa dengan memiliki rata-rata *displacement* 9% lebih besar daripada beban gempa respons spectrum Surabaya, namun

untuk exposure C dan B , rata-rata beban angin lebih kecil daripada beban gempa

7. Untuk variable $H=1000$, $H=1100$, $H=1200$, $H=1300$ memiliki nilai *displacement* yang berturut-turut semakin menurun seiring bertambahnya nilai H . Rata-rata penurunan *displacement* setiap bertambah 100 cm adalah 18%
8. Perbandingan volume beton dan volume tulangan

Tabel 6. 2 Rekapitulasi Volume Beton dan Tulangan Respons Spektrum Surabaya

Sistem Struktur	Volume Beton (m^3)	Tulangan (mm^2)
Frame Tube	449,38	3422388,85
Dual Sistem	323,63	1869037,01

Untuk volume beton *frame tube* membutuhkan 1,38 kali lebih besar, sedangkan untuk tulangan, *frame tube* membutuhkan 1,83 kali lebih besar daripada dual sistem

Tabel 6. 3 Rekapitulasi Volume Beton dan Tulangan Respons Spektrum Aceh

Sistem Struktur	Volume Beton (m^3)	Tulangan (mm^2)
Frame Tube	449,38	4663018
Dual Sistem	323,63	3340934

Untuk volume beton *frame tube* membutuhkan 1,38 kali lebih besar, sedangkan untuk tulangan, *frame tube* membutuhkan 1,395 kali lebih besar daripada dual sistem

9. Pengaruh jarak antar kolom terhadap *shear lag* menghasilkan kesimpulan bahwa dengan jarak antar kolom sebesar 3m memiliki efek *shear lag* yang lebih kecil sebesar 32% daripada gedung dengan jarak antar kolom 6 m

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini di antaranya:

1. Detail kebutuhan volume beton dan tulangan sebaiknya dilakukan dianalisa dan dibandingkan dengan cara mendesain bangunan secara keseluruhan
2. Studi ini perlu juga ada penelitian lebih lanjut dalam menganalisa dan dibuktikan secara numerik, karena dari semua riset-riset yang ada hanya dilakukan dengan *software*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)**. Jakarta: BSNI.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)**. Jakarta: BSNI.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983**. Jakarta: PU.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)**. Jakarta: BSNI
- El-Sayed,AK,El-Salakawy,EF,Bemokrane.2006.”Shear Capacity of High Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars.”**ACI Journal**, 103(03),383-389.
- Kong, F. K.,Robins,P.J., and Cole,D.F.1970.”Web Reinforcement Effect on Deep Beams.”**ACI Journal**, Proceedings 67(12), 1010-1017.
- Lavanya,B,Sridhar,R.2017.”Dynamic Analysis Of Tube-In-Tube Tall Buildings.” **International Research Journal of Engineering and Technology**, 04(04), 2395-0056 .
- Londhe,R.S.2010.”Shear Strength Analysis and Prediction of Reinforced Concrete Transfer Beams in High Rise Building.”**Structural Engineering Mechanics**, 37(1),39-59.
- Mau, S. T., & Hsu, C. T. 1989.”Formula for the Shear Strength of Deep Beams.” **ACI Structural Journal**, 86(8), 516–523.

- Naik,B,Chandra,S..2017.” Comparative Analysis between Tube in Tube Structure and Conventional Moment Resisting Frame.” **International Research Journal of Engineering and Technology**, 04(10), 2395-0056.
- Philip,Ramadass,Kumar.2015.” A Study on Concrete Deep Beams using Nonlinear Analysis.” **International Journal for Innovative Research in Science & Technology**, 2(05), 2349-6010.
- Rao, G. A., K. Kunal and R. Eligehausen .2007.”Shear Strength Of RC Deep Beams.” **Proceedings of the 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures**.
- Rajmani,A,Guha,P.2015.” Analysis Of Wind & Earthquake Load For Different Shapes Of High Rise Building.”**International Journal of Civil Engineering and Technology**, 06(02), 38-45.
- Rahul,Y,Kumara,V.2017.” Analysis of Different Forms of Tube in Tube Structures Subjected to Lateral Loads.” **International Research Journal of Engineering and Technology**, 04(2), 2349-6002.
- Sandhi,R.D.,Wibowo,A.,Agoes.2012.” Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung Fakultas Ilmu Sosial Dan Politik (Fisip) Universitas Brawijaya.”Malang: **Universitas Brawijaya**.
- Shalnewaz.2013.”Shear Behavior of Reinforced Concrete Deep Beam Under Static and Dynamic Load.”**University of British Columbia**.
- Smith,K.N.,and Vantsiotis,A.S.1982.”Shear Strength of Deep Beams.”**Journal of The American Concrete Institute**, 79(3),201-213.

Tan, K. Kong, F., Teng, S., and Guan, L. 1995. "High Strength Concrete Deep Beams with Effective Span and Shear Span Variations." **ACI Materials Journal**, 92(4), 395-405.

BIODATA PENULIS

Penulis yang bernama lengkap Angga Ramanda Putra ini dilahirkan di Surabaya pada tanggal 3 Juli 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Pabean 1 Sidoarjo, SMP Negeri 13 Surabaya dan SMA Negeri 15 Surabaya. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil ITS



pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar dengan NRP 03111540000050. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2019 dengan judul Tugas Akhir “*Studi Perilaku Gedung Bertingkat Tinggi Dengan Sistem Frame Tube*”. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: ramand.anggaputra@gmail.com

LAMPIRAN

FIGURE 2
Boring Log of DB-9

GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION:

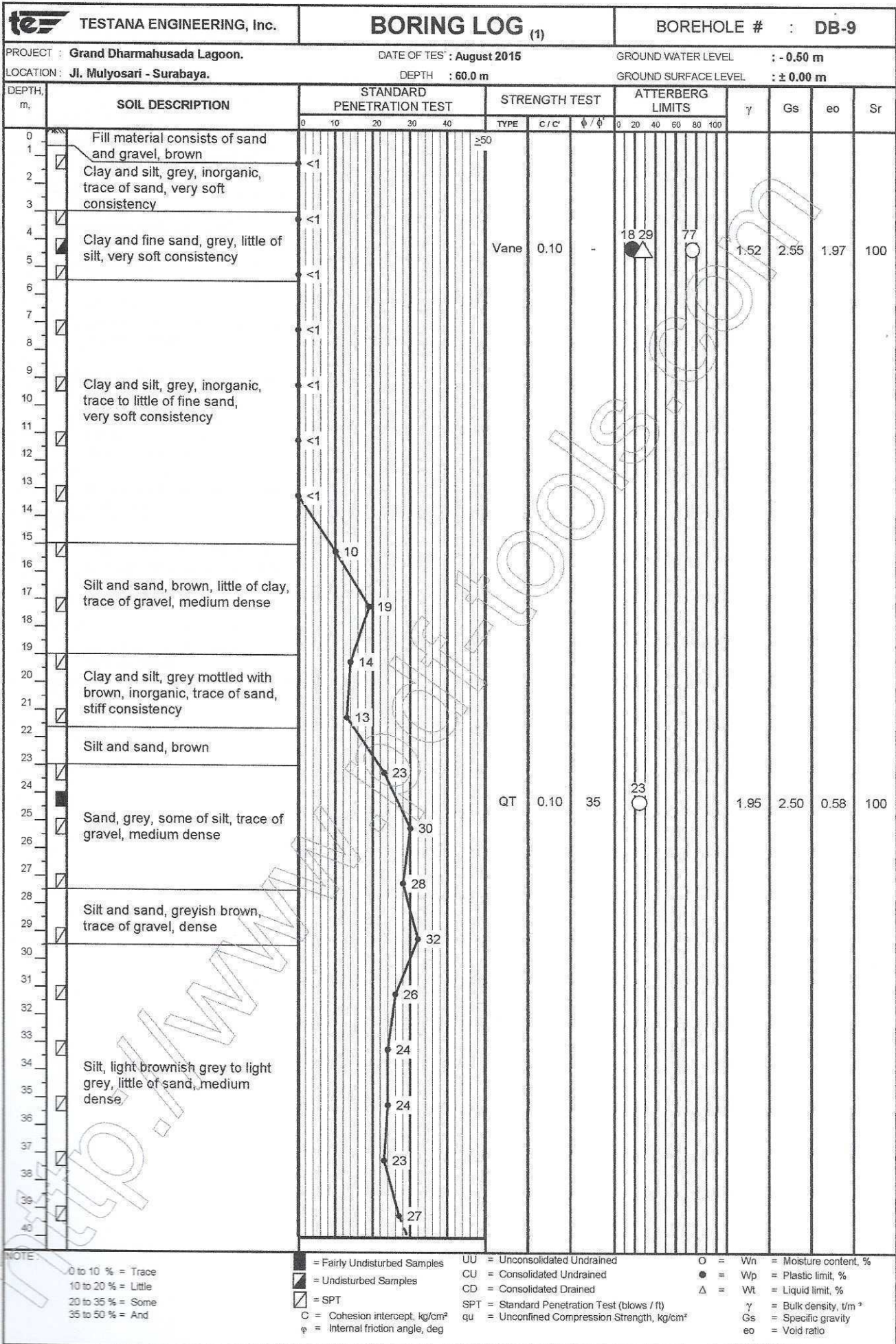
• INCLINOMETER • PIEZOMETER • WATER STAND PIPE • OBSERVATION WELL • SETTLEMENT GAUGES •

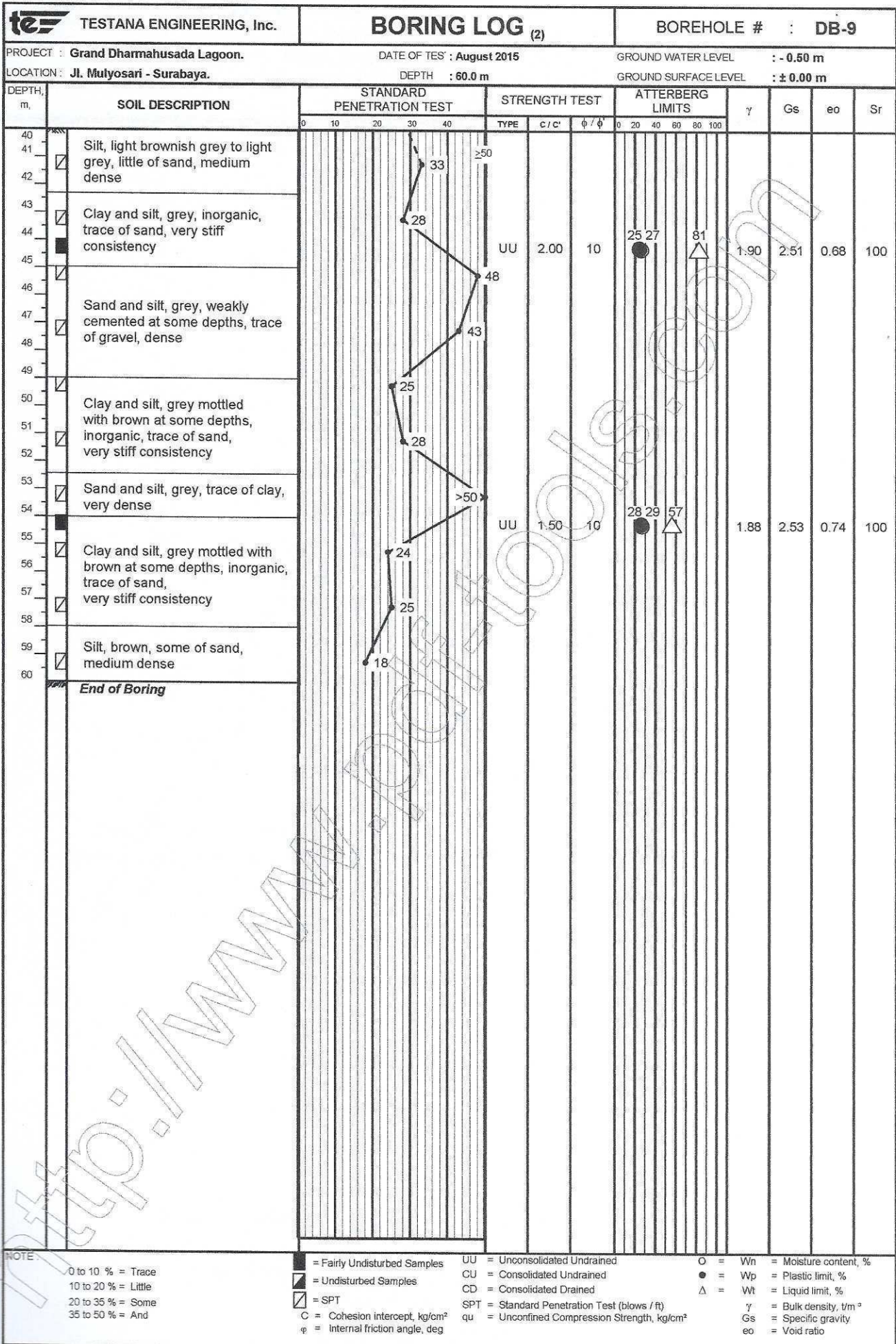
FOUNDATION TESTING:

• STATIC LOAD TEST (INSTRUMENTED WITH VWSC) • DYNAMIC LOAD TEST (PDA+CAPWAP) •
• PILE INTEGRITY TEST (PIT) • CROSSHOLE SONIC LOGGING •
• THERMAL INTEGRITY PROFILER (TIP) •

ENVIRONMENT MONITORING:

• VIBRATION MONITORING • TILTMETER • CRACKMETER •



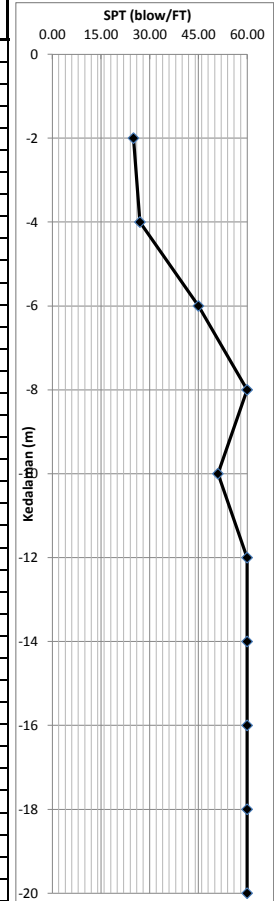


LEGEND	:	PASIR	LEMPUNG	LANAU	KERIKIL	BATU KARANG	UNDISTURBED SAMPLE	MAT

KLIEN : PT. Semen Indonesia
PROYEK : Pembangunan Pabrik Semen
LOKASI : Ds. COT, - Muara Tiga Laweung, - Pidie, - NAD
TITIK BOR No. : BH.3 (TIGA)
TTK. KOORDINAT : S. 5°29'8.77"
 E. 95°53'20.95"

TANGGAL : 15 - 16 Mei 2016
MASTER BOR : Imam Cs.
GROUND ELEVATION : ± 0,00 m
GROUND WATER LEVEL : -

KEDALAMAN (meter)	MAT	BOR LOG	DESKRIPSI TANAH	SAMPLE	SPT (blow/feet)			
					SPT/15 cm			Jumlah (Blow/ft)
0					15	15	15	
1			BATU KARANG KERIKIL LANAU BERLEMPUNG (HITAM KEKUNINGAN)					
2			BATU KARANG BERKERIKIL BERLANAU (PUTIH KECOKLATAN)		8	10	15	25
3			PASIR BERLANAU BERKERIKIL (PUTIH KECOKLATAN)					
4					10	12	15	27
5								
6					15	20	25	45
7								
8					>60			
9								
10					18	25	26	51
11								
12			BATU KARANG BERKERIKIL BERPASIR (PUTIH)		>60			
13								
14					>60			
15								
16					>60			
17								
18					>60			
19								
20					>60			



REKAP HASIL TEST LABORATORIUM

CLIENT : PT. Semen Indonesia
 PROJECT : Pembangunan Pabrik Semen
 LOCATION : Ds. COT, - Muara Tiga Laweung, - Pidie, - NAD
 KOORDINAT S. 5°29'8.77"
 E. 95°53'20.95"

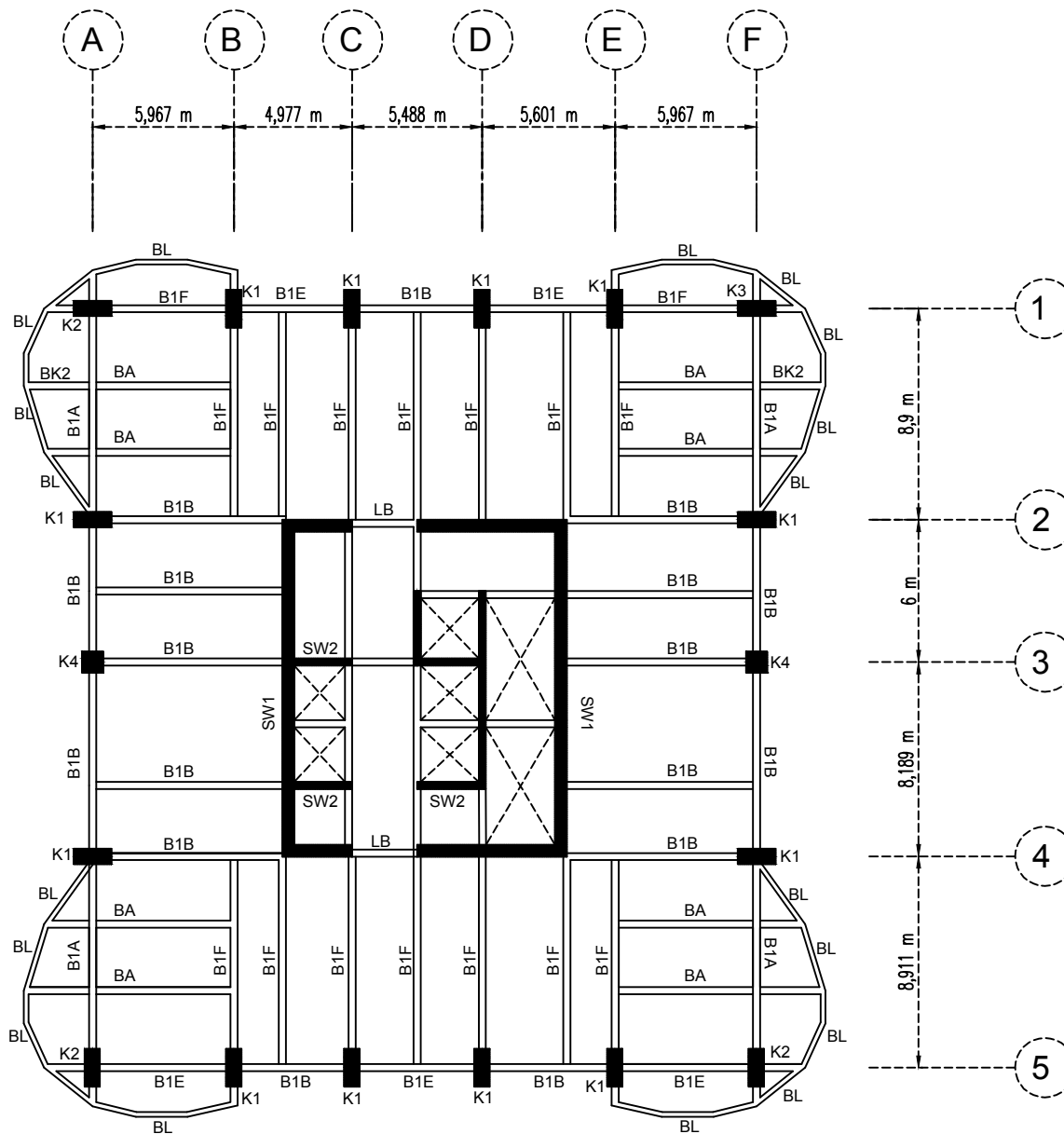
BORE POINT : BH-3
 BORE MASTER : Imam Cs.

DEPTH (Meter)	VOLUMETRIC + GRAVIMETRIC								CONSOLIDATION		
	Gs	e	Sr	Wc	n	γ _t	γ _d	γ _{sat}	Pp	Cc	Cv
-2.00	2.634	1.090	100.00	41.38	52.15	17.818	12.603	17.818	*	*	*
-4.00	2.458	0.932	100.00	37.92	48.24	17.547	12.723	17.547	*	*	*
-6.00	2.597	0.897	100.00	34.54	47.29	18.419	13.690	18.419	*	*	*
-8.00	2.614	0.867	100.00	33.17	46.44	18.645	14.001	18.645	*	*	*
-10.00	2.656	0.844	100.00	31.78	45.77	18.980	14.403	18.980	*	*	*
-12.00	2.608	0.782	100.00	29.98	43.88	19.024	14.635	19.024	*	*	*
-14.00	2.588	0.715	100.00	27.63	41.69	19.259	15.090	19.259	*	*	*
-16.00	2.512	0.683	100.00	27.19	40.58	18.984	14.926	18.984	*	*	*
-18.00	2.508	0.589	100.00	23.48	37.07	19.490	15.784	19.490	*	*	*
-20.00	2.544	0.572	100.00	22.48	36.39	19.822	16.183	19.822	*	*	*

DEPTH (Meter)	SIEVE ANALYSIS			ATTERBERG LIMITS			DIRECT TEST		TRIAXIAL UU		TRIAXIAL CD		PERMEABILITY
	G	S	S+Cl	LL	PL	IP	C	φ	C _u	φ _u	C _d	φ _d	k (cm/sec)
-2.00	*	*	*	*	*	*	*	*	122.44	0	*	*	*
-4.00	*	*	*	*	*	*	0	35	*	0	*	*	*
-6.00	*	*	*	*	*	*	*	*	212.07	0	*	*	*
-8.00	*	*	*	*	*	*	*	*	354.76	0	*	*	*
-10.00	*	*	*	*	*	*	*	*	379.32	0	*	*	*
-12.00	*	*	*	*	*	*	*	*	345.68	0	*	*	*
-14.00	*	*	*	*	*	*	*	*	335.71	0	*	*	*
-16.00	*	*	*	*	*	*	*	*	347.41	0	*	*	*
-18.00	*	*	*	*	*	*	*	*	373.84	0	*	*	*
-20.00	*	*	*	*	*	*	*	*	298.13	0	*	*	*

REMARK

G = Gravel (%)	LL = Liquid Limit (%)	C = Cohesion direct shear (kPa)
S = Sand (%)	PL = Plastic Limit (%)	C _d = Drained cohesion triaxial test(kPa)
M+ Cl = Silt + Clay (%)	IP = Plastic Index (%)	C _u = Undrained cohesion triaxial test(kPa)
e = Void ratio	Cc = Compression Index	φ = Angle of internal friction direct shear test (degree)
Gs = Specific Gravity	Cv = Compression of Consolidation (cm ² /sec)	φ _d = Angle of internal friction drained triaxial test (degree)
n = Porosity (%)	Pp = Coefficient of Consolidation (kPa)	φ _u = Angle of internal friction undrained triaxial test (degree)
Sr = Degree of saturation (%)	*	
W _c = Water content (%)		
γ _t = Moisture density (kN/m ³)	k = Coefficient of permeability (cm/sec)	
γ _{sat} = Saturated density (kN/m ³)		
γ _d = Dry density (kN/m ³)		



DENAH DUAL SYSTEM LANTAI 1-42
SKALA 1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Inr. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

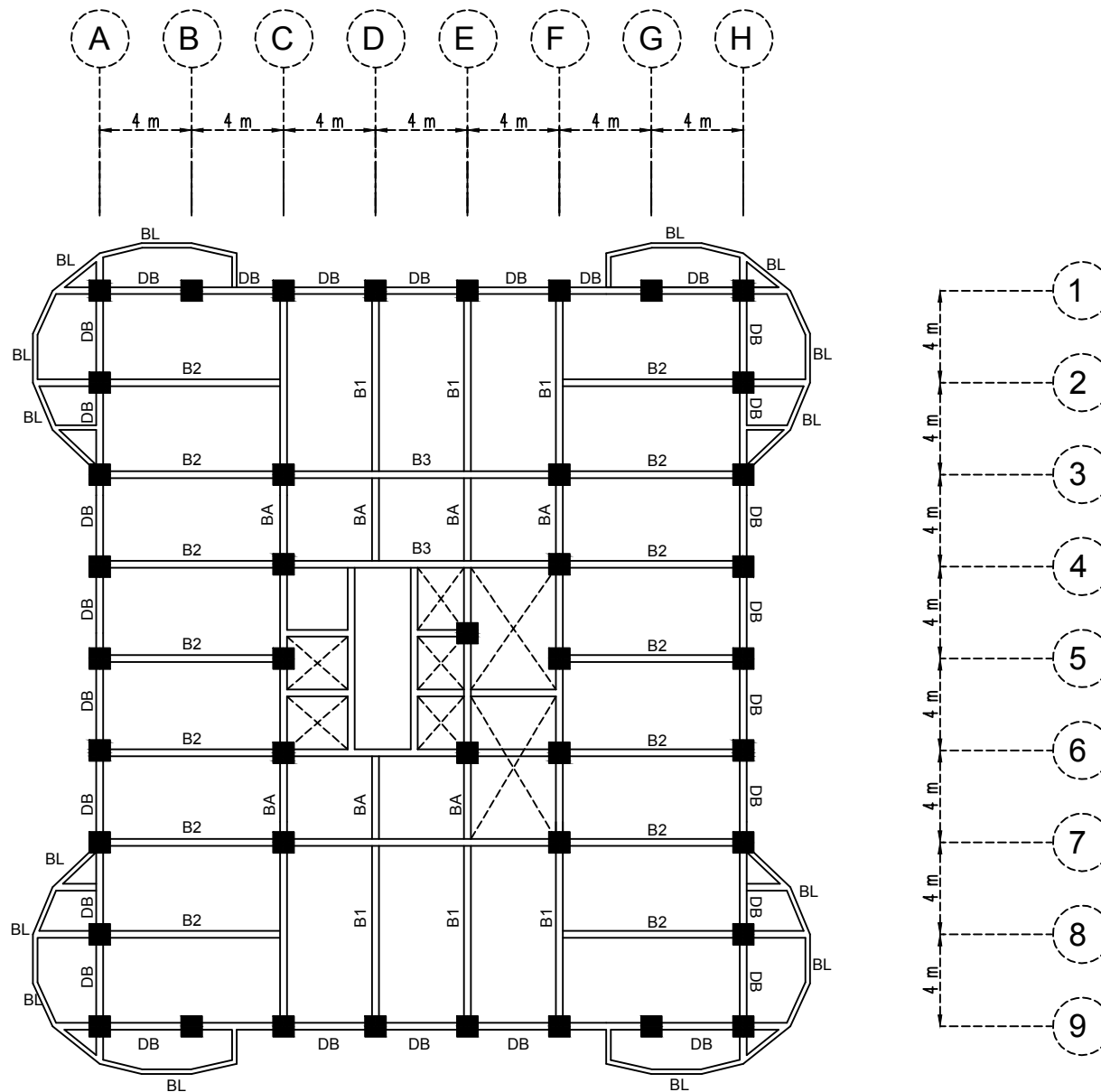
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

1

JML LEMBAR

14



DENAH FRAME TUBE LANTAI 1-42
SKALA 1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Inr. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

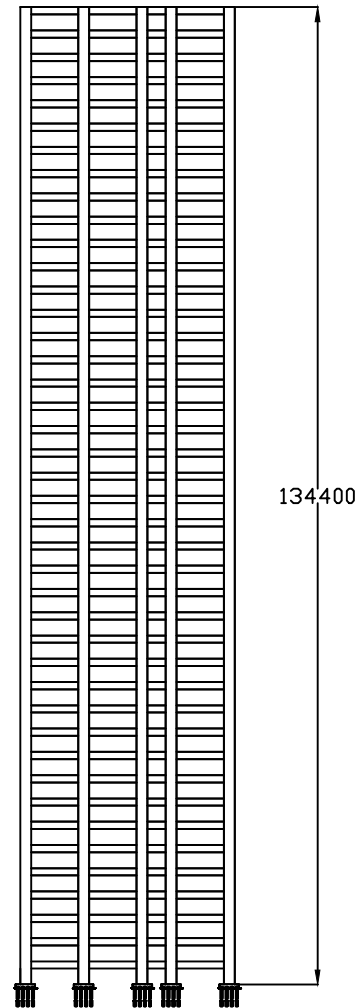
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050


NO.LEMBAR

2

JML LEMBAR

14




 Gambar Tampak Dual Sistem
 SKALA 1 : 700



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
 AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
 BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

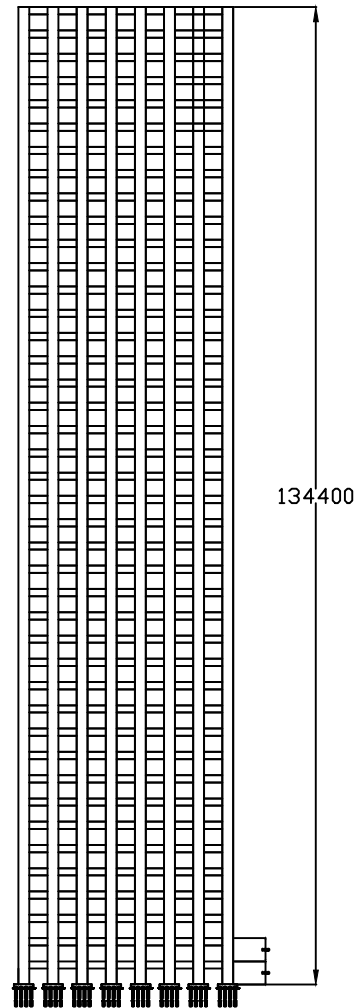
ANGGA RAMANDA PUTRA
 03111540000050


NO.LEMBAR

3

JML LEMBAR

14




 Gambar Tampak Frame Tube
 SKALA 1 : 700



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Inr. I GUSTI PUTU RAKA
 BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

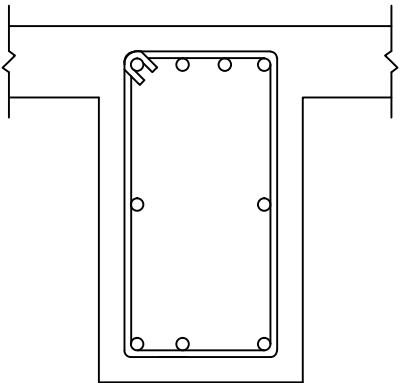
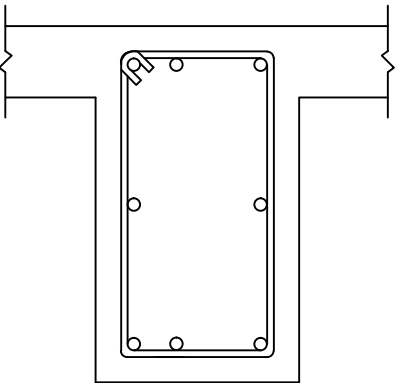
ANGGA RAMANDA PUTRA
 03111540000050

NO.LEMBAR

4

JML LEMBAR

14

TIPE	BALOK B1F DUAL SISTEM	
B X H (mm)	550 x 600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
BENTANG	8,9 m	
DECKING	40 mm	
TUL. ATAS	4 D22	3 D22
TUL. TENGAH	2 D22	2 D22
TUL. BAWAH	3 D22	3 D22
SENGKANG	2 D13 - 130 mm	2 D13 - 250 mm



POTONGAN B1F DUAL SISTEM
SKALA 1 : 10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

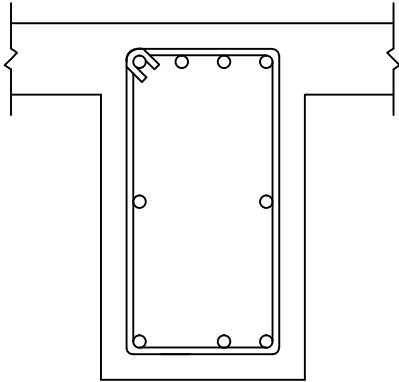
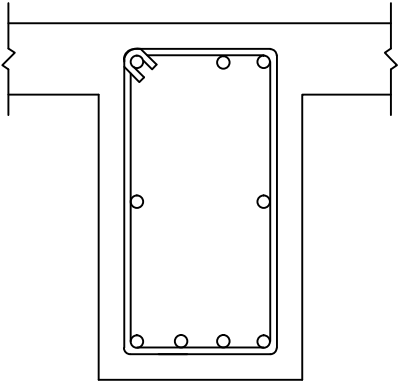
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050


NO.LEMBAR

5

JML LEMBAR

14

TIPE	BALOK B1 FRAME TUBE	
B X H (mm)	550 X 850	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
BENTANG	6,5 m	
DECKING	40 mm	
TUL. ATAS	4 D22	3 D22
TUL. TENGAH	2 D22	2 D22
TUL. BAWAH	3 D25	4 D22
SENGKANG	2 D13 - 130 mm	2 D13 - 350 mm

 POTONGAN B1 FRAME TUBE
SKALA 1 : 10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

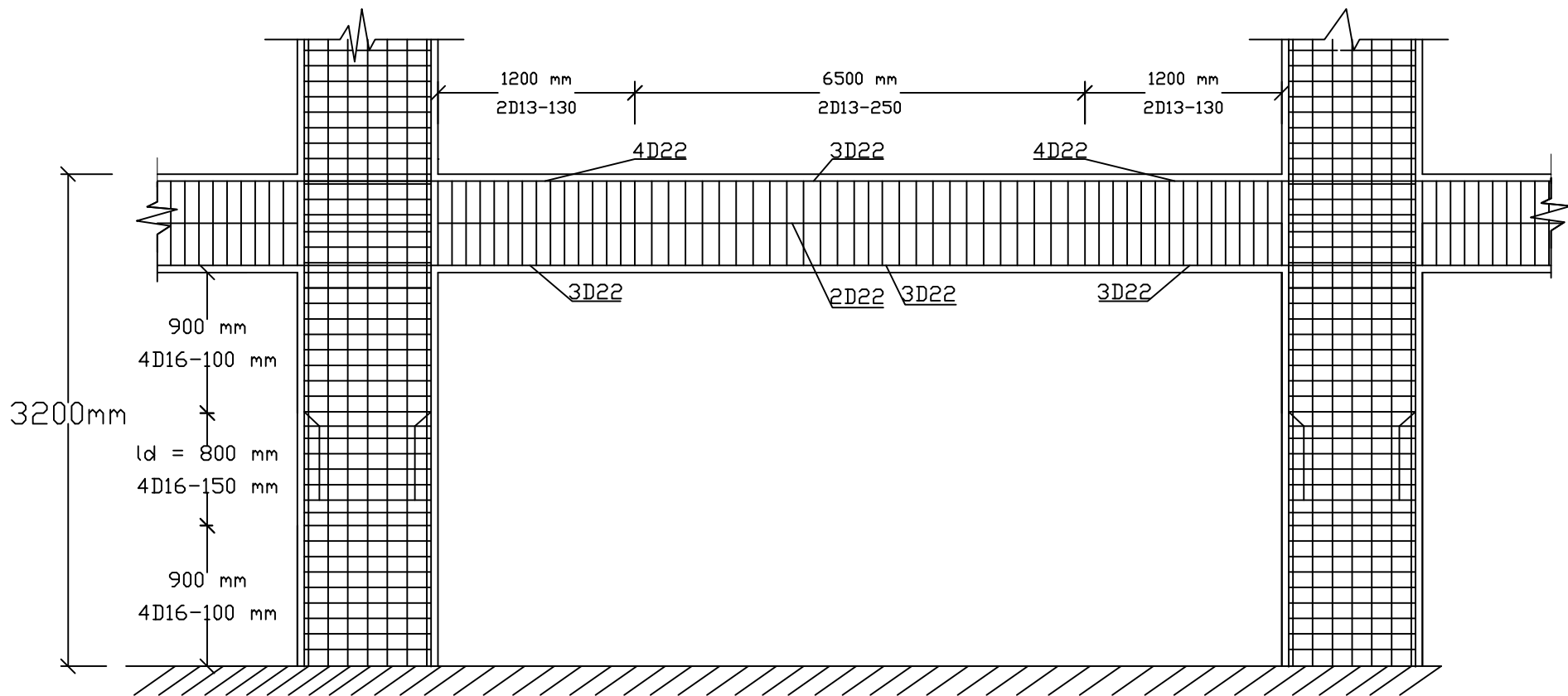
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

6

JML LEMBAR

14



DETAIL PENULANGAN B1F DUAL SISTEM
SKALA 1 : 30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Inr. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

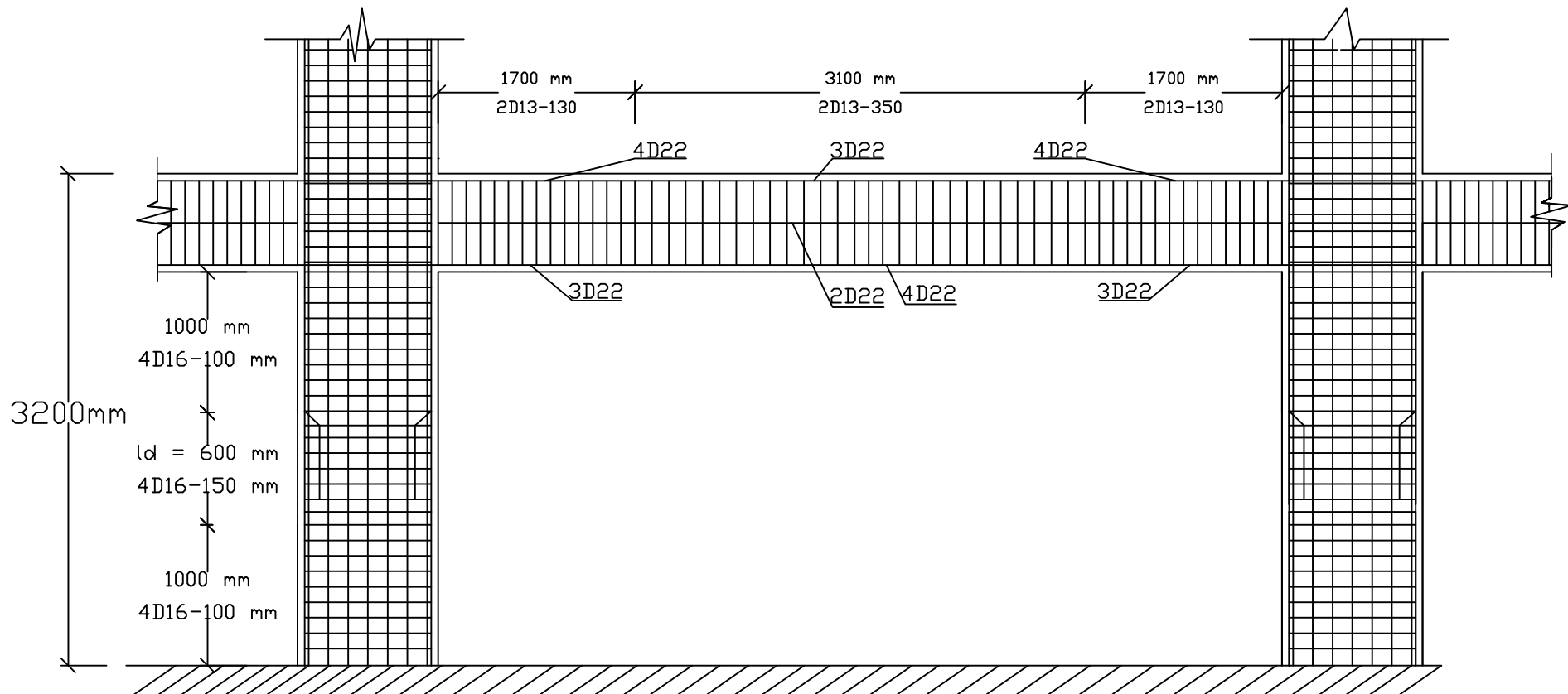
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

7

JML LEMBAR

14



DETAIL PENULANGAN B1 FRAME TUBE
SKALA 1 : 30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Inr. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

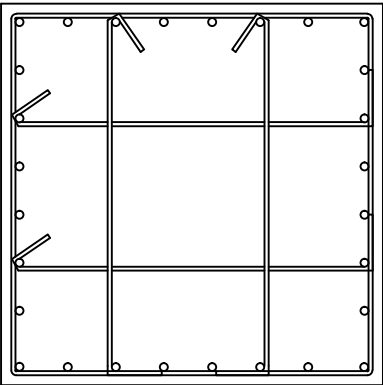
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

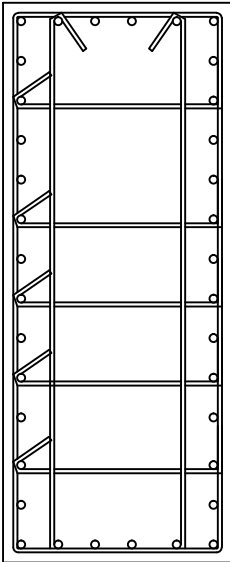
NO.LEMBAR

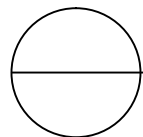
8

JML LEMBAR

14

TYPE	Kolom Frame Tube (1500 x 1500)
LT 1	
TULANGAN	28D32
SENGKANG	8D16-100/150

TYPE	Kolom Dual Sistem (2200 x 900)
LT 1	
TULANGAN	36D32
SENGKANG	4D16-100/150



DETAIL PENULANGAN KOLOM

SKALA 1 : 20



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

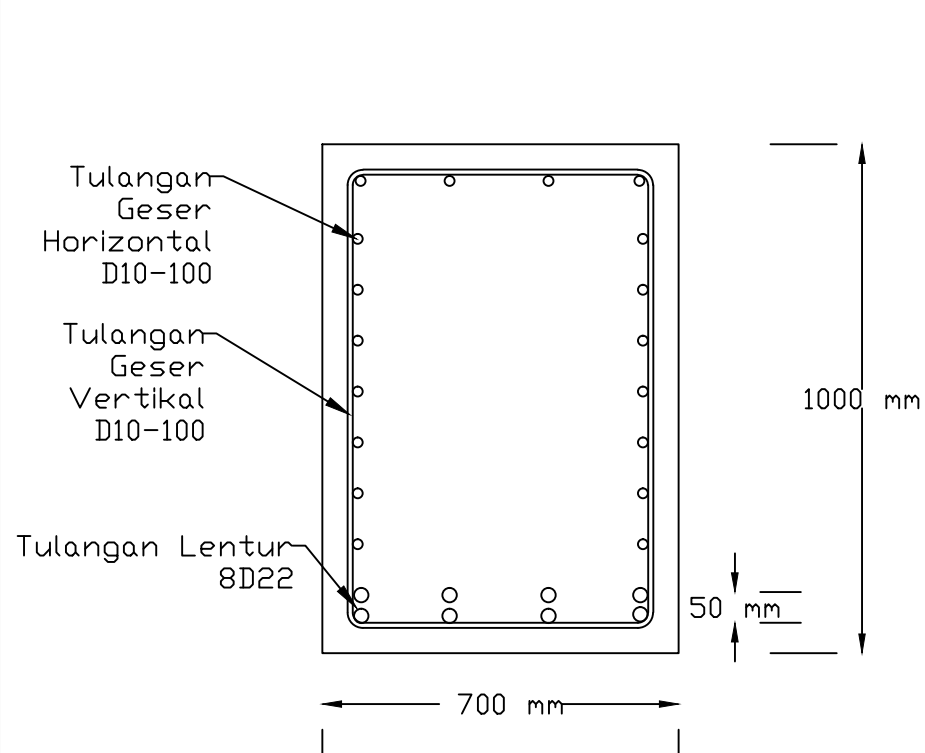
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

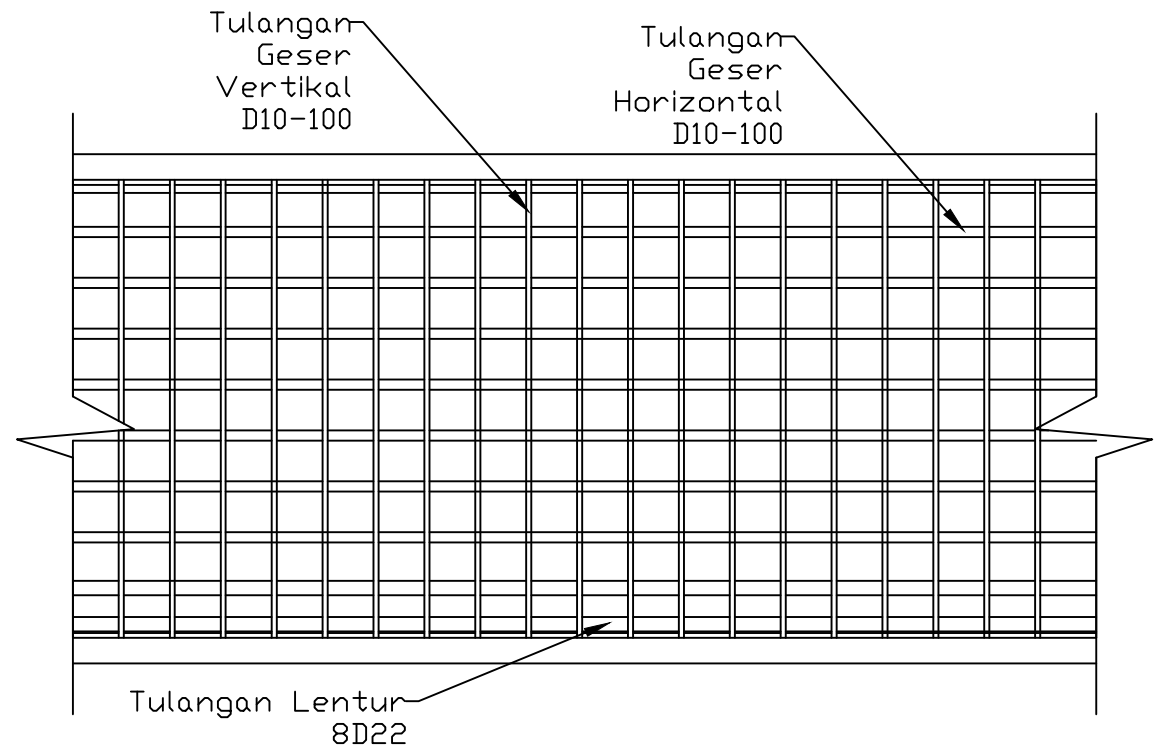
9

JML LEMBAR

14



POTONGAN MELINTANG BALOK TINGGI
SKALA 1 : 10



POTONGAN MEMANJANG BALOK TINGGI
SKALA 1 : 10



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

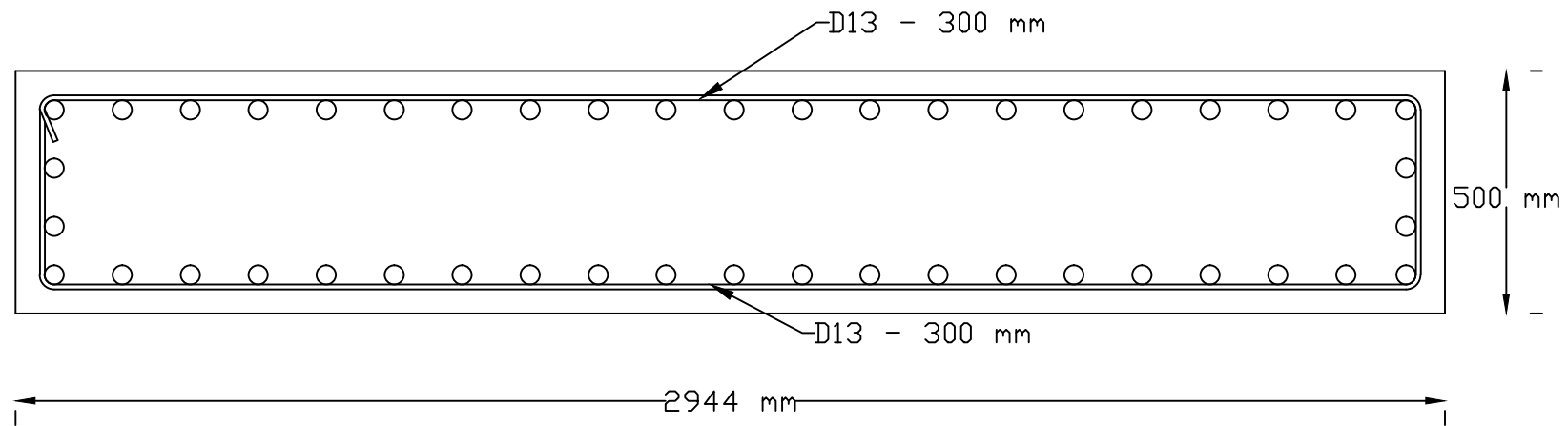
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

10

JML LEMBAR

14



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

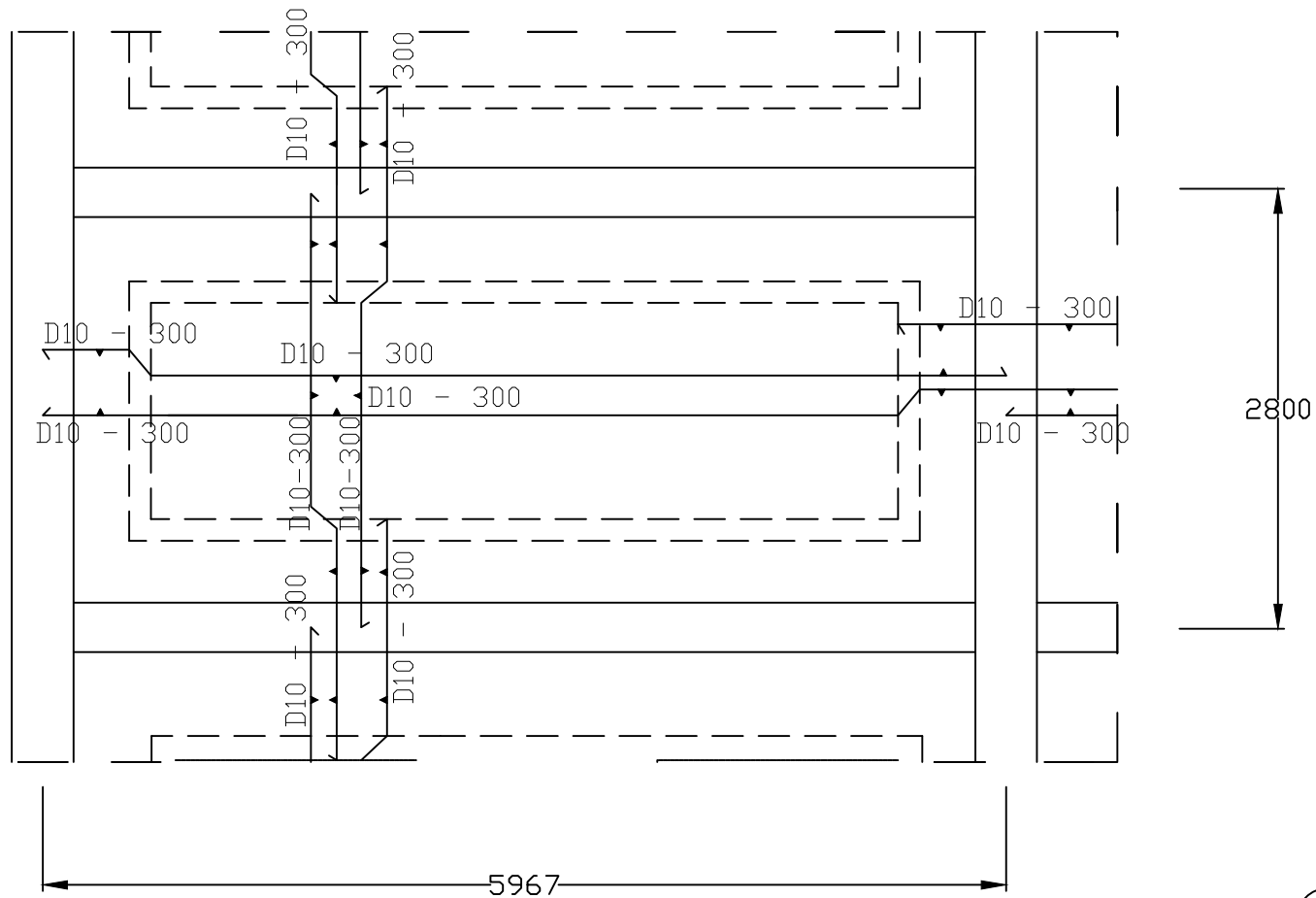
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

11

JML LEMBAR

14



○ PELAT LANTAI
SKALA 1 : 40



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

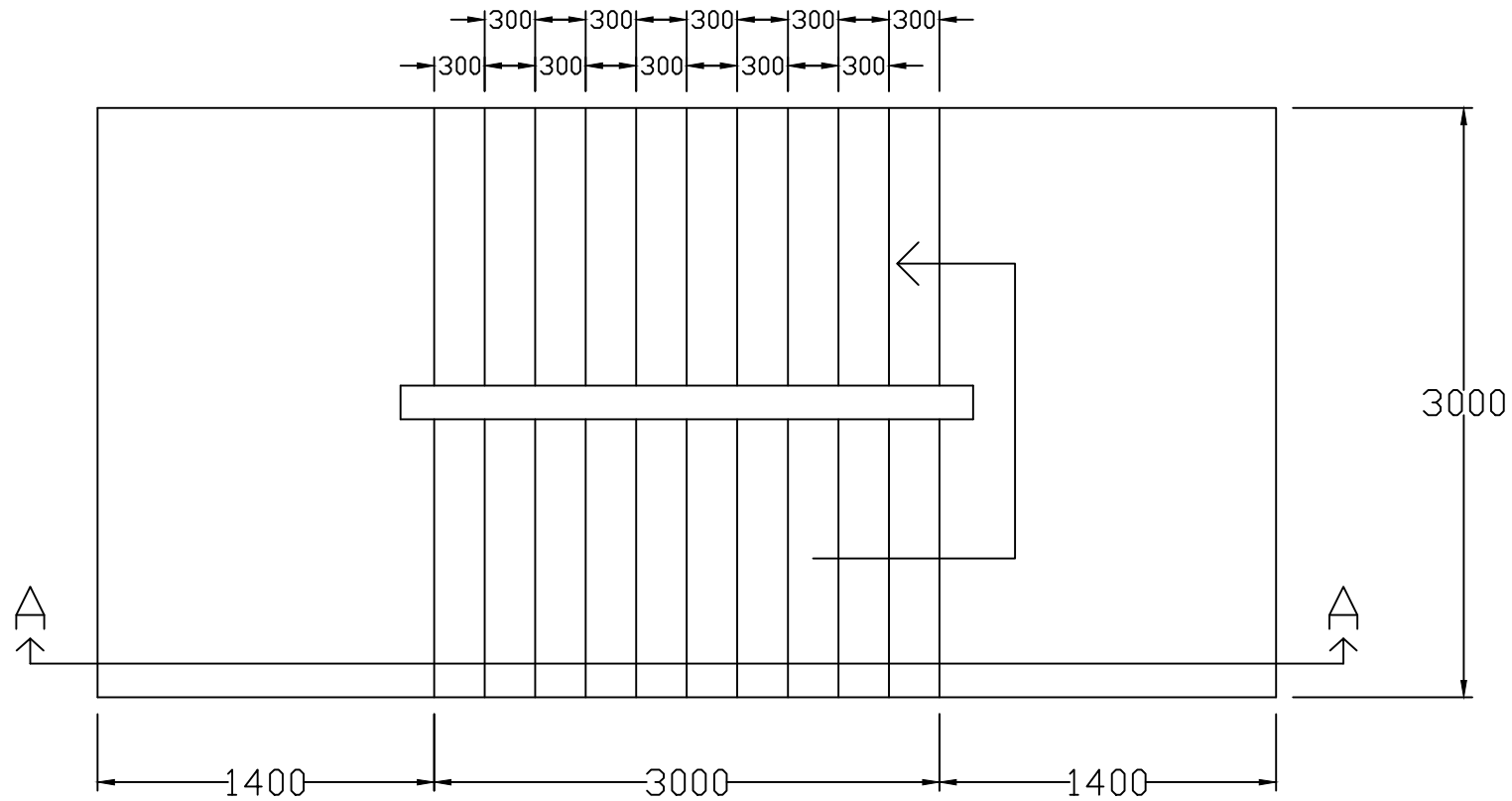
ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

12

JML LEMBAR

14



RENCANA TANGGA
SKALA 1 : 30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

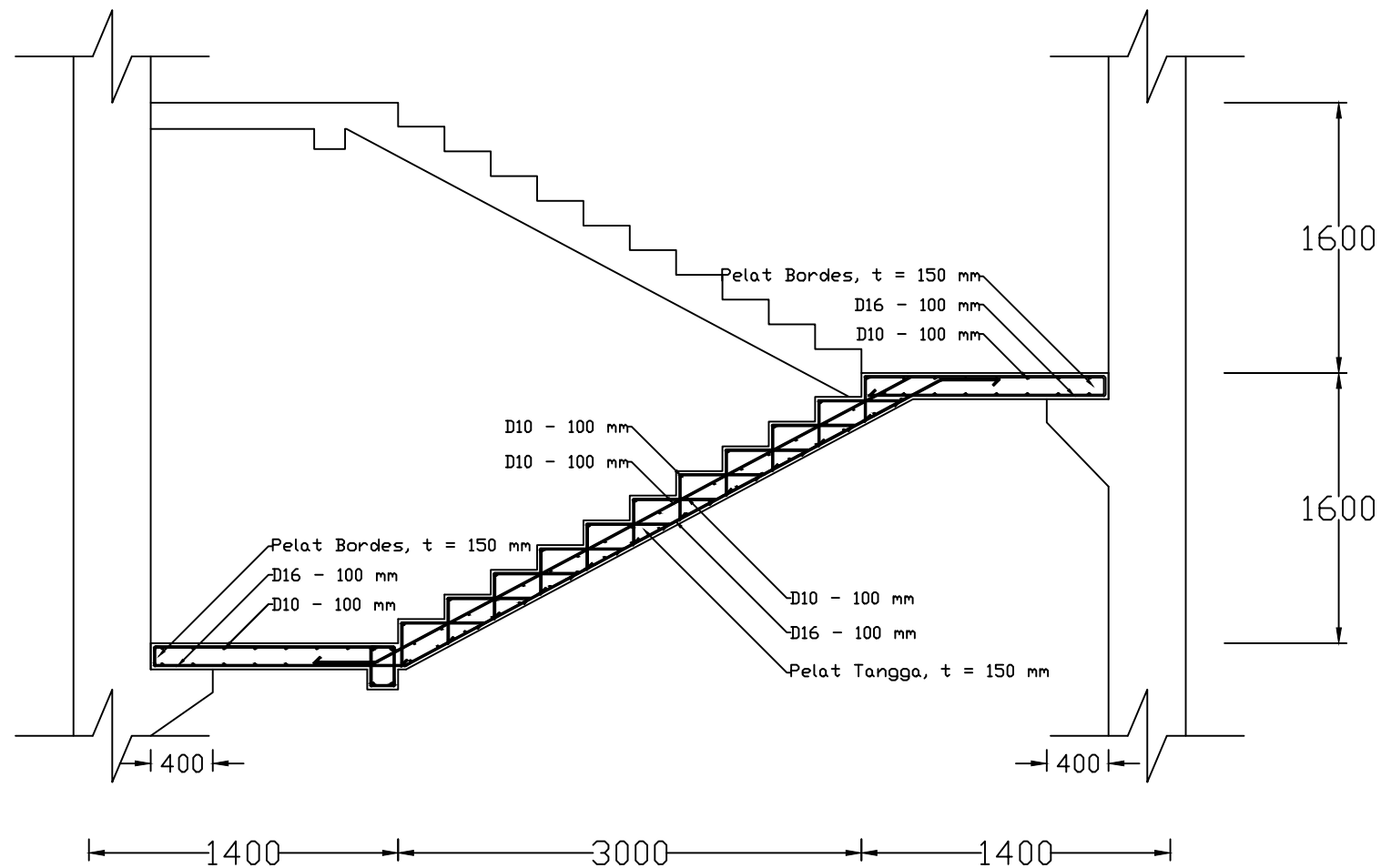
ANGGA RAMANDA PUTRA
0311154000050

NO.LEMBAR

13

JML LEMBAR

14



POTONGAN A-A TANGGA

SKALA 1 : 30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

TUGAS
AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA
BAMBANG PISCESA,ST.MT.Ph.D

NAMA & NRP MAHASISWA

ANGGA RAMANDA PUTRA
03111540000050

NO.LEMBAR

14

JML LEMBAR

14